Flexible Planung als Grundlage unternehmerischer Investitionsentscheidungen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften
(Dr. rer. oec.)
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen
Fakultät der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Dipl.-Kfm. Dipl.-Hdl.
HERBERT JOCHUM

Saarbrücken 1969

FLEXIBLE PLANUNG ALS GRUNDLAGE UNTERNEHMERISCHER INVESTITIONSENTSCHEIDUNGEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften
(Dr. rer. oec.)
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen
Fakultät der Universität des Saarlandes

vorgelegt
von
Dipl.-Kfm. Dipl.-Hdl. Herbert Jochum

Saarbrücken 1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. H. Hax

Erstberichterstatter: Prof. Dr. H. Hax

Zweitberichterstatter: Prof. Dr. W. Kilger

Tag der Disputation: 2. Dezember 1969

Gedruckt bei: aKu-Fotodruck, 86 Bamberg, Färbergasse 8 R

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Erscheinungsformen unternehmerischer Flexibilität	4
2	Versuch einer Systematisierung der Entscheidungen im Investitions- und Finanzierungsbereich nach Mobilitätsgesichtspunkten	8
2.1	Die Flexibilität der Objektentscheidungen	8
2.1.1	Investitionsbereich	9
2.1.1.1	Die Elastizität der Investitionsobjekte	11
2.1.1.1.1	Die qualitative Elastizität	12
2.1.1.1.2	Die quantitative Elastizität	13
2.1.1.1.3	Die Anpassungsgeschwindigkeit	14
2.1.1.2	Entscheidungszeitpunkt und Mobilität	15
2.1.1.2.1	Unvollständige Objektentscheidungen	15
2.1.1.2.2	Vollständige Objektentscheidungen	17
2.1.2	Finanzierungsbereich	20
2.1.2.1	Der Einfluß von Art und Fristigkeit der geplanten Investitionsfinanzierung auf die Flexibilität der Investitionsplanung	21
2.1.2.1.1	Beteiligungsfinanzierung	21
2.1.2.1.2	Selbstfinanzierung	24
2.1.2.1.3	Fremdfinanzierung	25
2.1.2.2	Finanzierungspotential und flexible Investitionsplanung	29
3	Bestimmungsgründe für den Elastizitätsgrad unternehmerischer Investitionsentscheidungen	35
3.1	Die Analyse der Einflußfaktoren auf der Grundlage linearer Nutzenfunktionen	35

Seite

3.1.1 Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Streuung der Marktdaten und der Vorteilhaftigkeit flexibler Objektentscheidungen bei eindimensionalen Verteilungen 36

3.1.1.1 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei quantitativ unelastischen Investitionsobjekten 37

3.1.1.2 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei kapazitätsunelastischen Investitionsobjekten ohne Produktionszwang 43

3.1.1.3 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei begrenzt kapazitätselastischen Investitionsobjekten ohne Produktionszwang 47

3.1.2 Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Streuung der Marktdaten und der Vorteilhaftigkeit flexibler Objektentscheidungen bei zweidimensionalen Verteilungen 52

3.1.3 Auswirkung der Merkmalsstreuung bei Verteilungen mit mehr als zwei zufälligen Veränderlichen 61

3.1.4 Der Einfluß der zeitlichen Struktur der Erwartungen auf die Vorteilhaftigkeit von Mobilitäten 62

3.2 Die Analyse der Einflußfaktoren auf der Grundlage konkaver Nutzenfunktionen 64

3.2.1 Darstellung der Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei konstanter Kapazität 69

3.2.2 Darstellung der Gewinnstreuung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei konstanter Kapazität 70

Seite

3.2.3 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Gewinnstreuung bei konstanter Kapazität 71

3.2.4 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität 71

3.2.5 Darstellung der Gewinnstreuung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität 72

3.2.6 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Gewinnstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität 72

3.2.7 Ableitung der optimalen Elastizitätspolitik für risikoneutrales und risikoaversives Verhalten 73

3.3 Die Auswirkung von Flexibilitätswiderständen 77

4 Flexible Investitionsplanung auf der Grundlage von Entscheidungsmodellen 79

4.1 Grundsätzliche Aspekte 79

4.2 Kritische Analyse zweier Literaturbeiträge zur flexiblen Investitionsplanung 85

4.2.1 Das Modell von Jacob 85

4.2.2 Investitionsplanung auf der Grundlage von Entscheidungsbäumen 87

4.3 Ein Modellansatz zur flexiblen Investitionsplanung 92

4.3.1 Vorbemerkungen 92

4.3.2 Modellformulierung 98

Seite

4.3.2.1 Zielfunktion 104

4.3.2.2 Kontinuitätsbedingungen 105

4.3.2.3 Kapazitätsbedingungen 107

4.3.2.4 Finanzierungsbedingung 108

4.3.2.5 Absatzbeschränkungen 110

4.3.2.6 Nichtnegativitätsbedingungen 110

4.3.2.7 Die Struktur des Funktionalgleichungssystems der dynamischen Programmierung zur Lösung des m-stufigen Problems der flexiblen Investitionsplanung 110

4.3.3 Das Problem der Lösung des dynamischen Programmansatzes zur flexiblen Investitionsplanung 113

4.3.4 Sensivitätsanalyse im Rahmen einer flexiblen Investitionsplanung 126

4.3.5 Die Problematik der Modellprämissen 128

4.3.5.1 Die Prämisse der begrenzten Unsicherheit 128

4.3.5.2 Die Prämissen bezüglich der Investitionsobjekte und Finanzierungsmittel 134

4.3.5.3 Die Prämisse der lagerlosen Produktion 136

4.3.5.4 Die langfristige Produktionsgestaltung als Element der flexiblen Investitionsplanung 137

4.3.5.5 Zur Frage der Einbeziehung von Informationsausgaben in das Modell 140

4.3.5.6 Die Zielprämisse 143

4.3.6 Abschließende Beurteilung des vorgelegten Programmierungsansatzes zur Planung von Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit 145

Seite

5 Zusammenfassung 155

Verzeichnis der im flexiblen Investitionsmodell verwendeten Symbole 156

Anhang 161

Literaturverzeichnis 162

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Unternehmerische Entscheidungen wirken in die Zukunft. Eine betriebswirtschaftliche Theorie, die unternehmerische Entscheidungen zum Gegenstand hat, welche die grundlegenden Bedingungen für künftige Maßnahmen festlegen, hat sich - ausgehend von den gegenwärtigen Aktionen - mit den vielfältigen Zusammenhängen zu befassen, die für die Konstitution des Entscheidungsfeldes[1] der folgenden Perioden von Bedeutung sind.

Die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie beschäftigt sich mit derartig schwerwiegenden Entscheidungen. Die getroffenen Investitionsmaßnahmen und die Art ihrer Finanzierung beeinflussen nicht nur zukünftige Produktions-, Investitions- und Finanzierungspläne, sie berühren darüber hinaus den Entscheidungsspielraum nahezu aller betrieblichen Teilbereiche.

Abstrahiert man von den nichtfinanziellen Zielsetzungen der Unternehmung, dann konzentrieren sich die handlungstheoretischen Überlegungen auf die Beantwortung der Frage, wie durch Investitions- und Finanzierungsentscheidungen die Voraussetzungen für eine möglichst günstige Struktur künftiger Zahlungsströme geschaffen werden können. Die mangelnde Voraussicht bezüglich der zeitlichen Entwicklung derjenigen Zustandsparameter,[2] die die Zahlungsströme der Unternehmung beeinflussen, selbst jedoch der Einflußnahme der Unternehmung entzogen sind, impliziert, daß zieladäquate Entscheidungen der Investitions- und Finanzierungssphäre nicht auf der Grundlage deterministischer Pläne gefunden werden können.

---

1) Zum Begriff des Entscheidungsfeldes vgl. Engels, Wolfram, Betriebswirtschaftliche Bewertungslehre im Licht der Entscheidungstheorie, Köln und Opladen 1962, S. 18.

2) Derartige Zustandsparameter könnten etwa sein: das Investitionsvolumen einer bestimmten Branche, das durchschnittlich verfügbare Einkommen gewisser Verbraucherschichten oder die Struktur der Tariflöhne des betreffenden Industriezweiges.

Das Anliegen dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Theorie der Investitionsplanung industrieller Betriebe vorzulegen, dessen besondere Aufmerksamkeit der Ungewißheit der relevanten Parameter und ihrer zeitlichen Interdependenz gewidmet ist. Aus der Überlegung, daß sowohl gegenwärtige Entscheidungsvorschläge als auch bereits eingeleitete oder getroffene Entscheidungen in Zukunft zur Revision anstehen können, läßt sich die Forderung ableiten, bereits bei der Investitionsplanung mögliche, durch die künftige Verbesserung des Informationsstandes ausgelöste Revisionen zu berücksichtigen.[1] Eine Planung, die eine Veränderung des Informationsstandes in der Zeit und die damit verbundenen Reaktionsmöglichkeiten vorwegnehmend einbezieht, kann als f l e x i b e l bezeichnet werden.[2] Der Gedanke der flexiblen Planung ist nicht neu, jedoch fehlen in der Investitionstheorie noch weitgehend quantitativ ausgerichtete Modellansätze.

Für jede potentielle Entwicklung der Umwelt[3] läßt sich theoretisch ein isoliertes Optimum ableiten (starre Planung). Dieses hypothetische Optimum entspricht der nachträglichen Fragestellung, wie zu handeln gewesen wäre, wenn man die tatsächliche Abfolge der erheblichen Daten bereits vorher gekannt hätte. Das Kernproblem einer flexiblen Investitionsplanung besteht

---

1) Vgl. auch die Argumentation bei Marschak, Thomas and Richard Nelson, Flexibility, Uncertainty and Economic Theory, in: Metrooeconomica, vol. 14 (1962), S. 42-58, hier S. 47-48.

2) Vgl. die ähnliche Definition bei Wittmann, Waldemar, Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959, S. 188. Im folgenden werden, ungeachtet ihres unterschiedlichen Inhaltes in den Naturwissenschaften, die Begriffe Flexibilität, Elastizität und Mobilität synonym verwendet. Sie kennzeichnen die Anpassungsbereitschaft eines Objektes oder Subjektes gegenüber veränderten Aufgabenstellungen. Vgl. zu dieser Begriffsbildung auch Riebel, Paul, Die Elastizität des Betriebes, Köln und Opladen, 1954; S. 5 und 87; Vormbaum, H., Wechselbeziehungen zwischen den fixen Kosten und dem betriebswirtschaftlichen Elastizitätsstreben, in: ZfB, 29. Jg. (1959), S. 193-205, hier S. 193 und die dort angegebene Literatur.

3) Hier wird unterstellt, daß sich der für die Bewertung von unternehmerischen Entscheidungen relevante Ausschnitt der Umwelt mit Hilfe von Zustandsparametern beschreiben läßt.

nun darin, durch den Entwurf geeigneter Alternativpläne und eine entsprechende Konzeption anpassungsfähiger Entscheidungen, die sowohl den technischen als auch den finanziellen Sektor betreffen, einschneidende Divergenzen zwischen den effektiven Zahlungsströmen und dem jeweiligen hypothetischen Optimum bei ex ante sicheren Erwartungen zu vermeiden. Hier vor allen Dingen stellt sich für die empirische Forschung die Aufgabe, zum Zwecke rationellerer Plangestaltung latente Elastizitäten - etwa im produktionstechnischen oder finanziellen Bereich - aufzudecken.[1)]

Nach einem kurzen Überblick über Erscheinungsformen unternehmerischer Flexibilität werden wir im zweiten Kapitel den Versuch unternehmen, systematisierend darzulegen, welche Gesichtspunkte bei der Beurteilung der Elastizität von Investitions- und Finanzierungsalternativen von Bedeutung sind. Das dritte Kapitel widmet sich der Frage, wie sich einzelne Faktoren auf die Vorteilhaftigkeit der unternehmerischen Anpassungsbereitschaft auswirken, soweit die Investitionspolitik davon berührt wird, wobei die Art der Risikohaltung im Vordergrund der Analyse steht. Im vierten Kapitel, dem Kern der Arbeit, werden wir uns dem Problem einer flexiblen Investitionsplanung zuwenden. Die vorbereitende Diskussion wird in einen quantitativen Modellvorschlag einmünden. Neben der Struktur eines flexiblen Planungsmodells interessiert seine Operationalität für praktische Planungsaufgaben. Im Anschluß an die Modellformulierung wird auf diesen Fragenkomplex näher einzugehen sein. Aus der Aufgabenstellung ergibt sich der Verzicht, Probleme tiefergehend zu erörtern, die nicht mit dem Phänomen unvollkommener Voraussicht unmittelbar verknüpft sind.

---

1) Zu diesem Komplex existieren nur wenige Veröffentlichungen. Genannt seien: Riebel, Paul, a.a.O.; Ulbricht, W. und A. Bronner, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Planen von Werkzeugmaschinen, in: VDI-Zeitschrift, Bd. 101 (1959), Nr. 25, S. 1160-1166; Klopsch, Wilhelm, Die Elastizität von Außenhandelsbetrieben, Diss. Hamburg 1962.

1.2 Erscheinungsformen unternehmerischer Flexibilität

Die flexible Unternehmensplanung geht von der Überlegung aus, daß bei unvollkommener Voraussicht eine irreversible oder nur unter schwerwiegenden Einbußen korrigierbare Entscheidung i.a. ungünstiger ist als eine solche, die Bereitschaft zur Anpassung an unterschiedliche, für möglich gehaltene Datenkonstellationen gewährleistet.[1] Dagegen führt eine starre Planung in der Regel dann zu höheren Zielwerten, wenn die eingetretene Umweltsituation nicht wesentlich von der der Planung zugrunde gelegten abweicht. Wie starr oder wie flexibel die Unternehmenspolitik letztlich sein soll, ist aber nur aus einem Planungskalkül ableitbar, der die mobilitätsbegründenden Alternativen mit einbezieht.[2]

Das Problem der Anpassungsbereitschaft tritt naturgemäß auch bei Planung unter Sicherheit auf, wenn angenommen wird, daß die Umweltbedingungen sich in der Zeit ändern. Der optimale Anpassungspfad kann theoretisch im Rahmen eines deterministischen Entscheidungsmodells festgelegt werden. Unter der wirklichkeitsnäheren Voraussetzung unvollkommener Voraussicht existiert keine eindeutige Abfolge von Anpassungsmaßnahmen. Wenn überhaupt, dann läßt sich allenfalls eine konditionierte Abfolge reaktiver Entscheidungen projizieren.

---

1) Vgl. Hart, Albert Gailord, Anticipations, Uncertainty, and Dynamic Planning, New York 1965, S. 55; ders., Risk, Uncertainty, and the Unprofitability of Compounding Probabilities, in: Fellner, William and Bernhard F. Haley (eds.), Readings in the Theory of Income Distribution, 2. Aufl., London 1954, S. 547-557, hier S. 552, 555-557, Erstabdruck in: Studies in Mathematical Economics and Econometrics, Chicago 1942, S. 110-118; Wittmann, Waldemar, a.a.O., S. 181; Gäfgen, Gérard, Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen, Tübingen 1963, S. 208.

2) Eine eingehende Analyse der Einflußgrößen, die für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer flexiblen Investitionsplanung von besonderer Bedeutung sind, findet sich in Kapitel 3.

Zur Vorbereitung einer flexiblen Unternehmensplanung gilt es zunächst zu ermitteln, welche Objekte als Träger entscheidungsrelevanter Elastizität verfügbar sind. Dabei stehen jene qualitativen und quantitativen Mobilitäten,[1] die dem produktionstechnischen Apparat und dem gewählten Produktionsverfahren innewohnen bzw. über die anhand des Investitionsprogramms entschieden wird, zunächst im Vordergrund.[2] Je höher zu einem bestimmten Zeitpunkt die aus Umfang und Kongruenz der aggregatindividuellen Elastizitäten resultierende Mobilität ist, um so größer ist der Freiheitsgrad unternehmerischer Produktions- und Investitionsentscheidungen.[3]

Die nicht unmittelbar mit der Produktion im Zusammenhang stehenden Bereiche, wie z.B. Lagerung, Transport, Betriebsführung und Organisation bilden ein weiteres, umfangreiches Gebiet für die Entwicklung anpassungsfähiger Strukturen. Hingegen wird die dispositive Elastizität der Unternehmensleitung als Datum der Planung anzusehen sein. Den technischen und personellen Voraussetzungen betrieblicher Anpassungsprozesse entsprechen im finanziellen Sektor Voraussetzungen, die die Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen und die Aufrechterhaltung der Liquidität sicherstellen sollen.[4] Die Elastizität der Finanzierung ist abhängig von Art und Umfang der zur Verfügung stehenden Finanzierungsquellen.[5]

---

1) Zum Begriff der Mobilität vgl. S. 2, Fußnote 2 und die dort angegebene Literatur. Der Terminus qualitative bzw. quantitative Mobilität wird in Abschnitt 2.1.1 näher erläutert; vgl. dazu auch Swoboda, Peter, Die betriebliche Anpassung als Problem des betrieblichen Rechnungswesens, Wiesbaden 1964, S. 44-52, bes. S. 44-45.

2) Die Gutenbergsche Lehre von den Anpassungsformen basiert lediglich auf einer statischen Analyse des Kosteneinflusses produktionstechnischer Anpassungsvorgänge im Einproduktfall unter der Annahme eines gegebenen Bestandes an Betriebsmitteln. Vgl. Gutenberg, Erich, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Die Produktion, 14. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1968, S. 336-382.

3) Zum Problem der Mobilitätsinterdependenzen vgl. Kapitel 4.1 und Riebel, Paul, a.a.O., S. 138-141.

4) Vgl. von Kortzfleisch, Gert, Die Grundlagen der Finanzplanung, Berlin 1957, S. 66.

5) Zu den dabei auftretenden Interdependenzen vgl. S. 29-34 dieser Arbeit.

Für die Zwecke einer dynamischen Planung ist es unerläßlich, die technische bzw. finanzielle Elastizität durch Angabe der erforderlichen Reaktionszeit näher zu spezifizieren. Bei der erforderlichen Reaktionszeit handelt es sich um die Zeitspanne, die notwendig ist, um bei gegebenen Anpassungskosten eine definierte Zustandsänderung durchzuführen. In der Regel wird die effektive Anpassungszeit die erforderliche Reaktionszeit in gewissen Grenzen überschreiten können, ohne daß eine derartige Verzögerung zu einer Änderung der Anpassungskosten zu führen braucht.

Neben der aktiven Beeinflussung der Anpassungsfähigkeit, z.B. durch Anschaffung eines Mehrzweckaggregats oder durch vorsorgliche Stärkung der Eigenkapitalbasis, wird auch das Herauszögern der Entscheidungen über bestimmte Investitions- oder Finanzierungstypen in der Regel gegenüber einer endgültigen Festlegung, wenn auch nur für eine gewisse Zeitspanne, zu einer Erhöhung der unternehmerischen Elastizität beitragen. Steigt nämlich der Informationsstand in der Zukunft, dann erwächst dem Unternehmen der Vorteil, bessere Entscheidungen treffen zu können.[1)] Es steht dahin, ob im Einzelfall die Anpassungsgeschwindigkeit ausreicht, die Vorteile des erhöhten Freiheitsgrades voll auszunutzen. In der Realität wird sich genügend Gelegenheit bieten, von dieser besonderen Form der Elastizitätssteigerung Gebrauch zu machen. Man kann die Anschaffung neuer Aggregate herauszögern, weil in absehbarer

---

1) Hart, Albert Gailord, Anticipations, ..., a.a.O., S. 56-60; ders., Risk, ..., a.a.O., S. 550-551. Vgl. auch Marschak, Jacob, Role of Liquidity Under Complete and Incomplete Information, in: American Economic Review, vol. 39 (1949), S. 182-195, bes. S. 189; Marschak, Thomas and Richard Nelson, a.a.O., S. 47-48; Fricke, R., Die Elastizität der Kapitaldisposition, in: ZfB, 8. Jg. (1931), S. 756-766, bes. S. 760; Richardson, G.B., Investment and Information, London 1960, S. 151; Klein, Burton and William Meckling, Application of Operations Research to Development Decisions, in: Operations Research, vol. 6 (1958), S. 352-363, hier S. 354-355; Kosiol, Erich, Planung als Lenkinstrument der Unternehmensleitung, in: Unternehmensplanung in der Marktwirtschaft, Bd. 10 der Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Planungsrechnung e.V., Wiesbaden 1965, S. 15-26.

Zeit technisch vollkommenere Modelle erwartet werden oder weil die Absatzlage zur Zeit noch sehr undurchsichtig ist; man kann Anpassungsmaßnahmen hinausschieben, weil man die gegenwärtigen Verhältnisse für instabil hält. Zur Erhöhung der Entscheidungsbereitschaft wird es gewöhnlich von Vorteil sein, die Finanzierungsmittel, die wegen der Verschiebung von Maßnahmen frei bleiben, nicht anderweitig zu binden (z.B. Aufrechterhaltung liquider Reserven, nicht ausgeschöpfter Kreditlinien, kurzfristig liquidierbarer Vermögenswerte). Eine Vergrößerung des künftigen Entscheidungsspielraums durch Abwarten ist allerdings nicht immer gewährleistet. Veränderte Umweltverhältnisse, z.B. zunehmende Verknappung auf dem Beschaffungssektor, können vielmehr zu einer Verminderung des Handlungsspielraums beitragen und daher vorsorgliche Entscheidungen, die die Elastizität aktiv beeinflussen, als empfehlenswerter erscheinen lassen.

2 Versuch einer Systematisierung der Entscheidungen im Investitions- und Finanzierungsbereich nach Mobilitätsgesichtspunkten

2.1 Die Flexibilität der Objektentscheidungen[1)]

Die Flexibilität von Objektentscheidungen, unabhängig davon, ob es sich um Investitions- oder Finanzierungsalternativen handelt, wird auf zwei Ebenen wirksam. Zunächst kann im Zeitpunkt der Investitions- und Finanzierungsentscheidung nach dem vorhandenen Entscheidungsspielraum gefragt werden. Es soll in diesem Zusammenhang der Begriff der Realisierungselastizität von Objekten oder Objektentscheidungen verwendet werden. Je mehr Investitions- und Finanzierungsalternativen der Unternehmung in einem beliebigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen, um so höher ist die Realisierungselastizität im Investitions- und Finanzierungsbereich. Zum anderen interessieren die Wirkungen, die von der realisierten Entscheidung auf die Flexibilität künftiger Planperioden ausgehen. Dieser Komplex soll durch den Begriff der Verwendungselastizität der Entscheidungsobjekte umrissen werden.[2)]

Auf beiden Ebenen sind drei Elastizitätsarten zu unterscheiden: qualitative und quantitative Elastizität sowie übergreifend die Anpassungsgeschwindigkeit oder Reaktionszeit.[3)]

---

1) Bezogen auf ein Investitionsprogramm kann eine Objektentscheidung als Wahl eines bestimmten Aktivitätsniveaus einer Programmvariablen definiert werden.

2) Eine ähnliche Unterscheidung trifft Albach. Vgl. Albach, Horst, Die Prognose im Rahmen unternehmerischer Entscheidungen, in: Diagnose und Prognose als wirtschaftswissenschaftliche Methodenprobleme, Verhandlungen auf der Arbeitstagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, in Garmisch-Partenkirchen 1962, S. 201-214, hier S. 207.

3) Eine weitergehende Untergliederung wie bei Riebel, Paul, a.a.O., S. 101-141, bei Wittmann, Waldemar, a.a.O., S. 190 oder Swoboda, Peter, a.a.O., S. 44-52, erscheint für Zwekke der Investitionsplanung nicht erforderlich.

Die qualitative Anpassungsfähigkeit bezieht sich auf die Möglichkeit, qualitativ unterschiedliche Alternativen zu verwirklichen. Im Produktionsbereich ist damit eine Veränderung des Produktionsprogramms im weitesten Sinne gemeint, von der Veränderung einzelner Produktqualitäten bis zur Substitution von Produkten, Erweiterung oder Einengung des Produktionsprogramms etc.[1] Ähnliches gilt hinsichtlich der qualitativen Anpassungsfähigkeit einzelner Aggregate oder Anlagen. Im Finanzierungsbereich kennzeichnet die qualitative Realisierungselastizität das Vorhandensein unterschiedlicher Finanzierungsquellen, die qualitative Verwendungselastizität den Grad der Zweckbindung der aufgenommen bzw. frei werdenden finanziellen Mittel. Bei der quantitativen oder mengenmäßigen Anpassungsfähigkeit wird nach der Mobilität in Bezug auf jeweils eine einzige Programmvariable (z.B. die Ausbringungsmenge eines bestimmten Produktes) gefragt.[2]

Die Anpassungsgeschwindigkeit schließlich kann für die beiden ersten Elastizitätsarten gleichermaßen definiert werden. Sie verknüpft das Maß der Zustandsänderung mit der dazu benötigten Zeit.

Die willkürliche Trennung der drei Anpassungskomponenten bedeutet eine vereinfachende Abstraktion. Im Rahmen der Investitionsplanung ist eine simultane Beurteilung erforderlich.

2.1.1 Investitionsbereich

Investitionsentscheidungen werden i.a. unterteilt in Real- und Finanzinvestitionen. Bei den Realinvestitionen handelt es sich um Bindung von Kapital in Form materieller oder immaterieller Objekte, die der Realisierung des Betriebsprozesses dienen

---

1) Ähnlich auch Vormbaum, H., a.a.O., S. 196

2) Vgl. Swoboda, Peter, a.a.O., S. 45.

(Produktionsbereich, Vertriebsbereich etc.). Bei den Finanzinvestitionen handelt es sich um die Bindung von Kapital in Form eines Rechtsanspruches (Forderungstitel, Anteilsrechte etc.). Liquide Mittel sind Kapital ohne zeitliche Bindung, das jederzeit investiv transformiert werden kann, es sei denn, bestimmte Liquiditätsteile sind für besondere Zwecke (Spekulation, Risikoabdeckung) reserviert.[1] Im Vordergrund der Betrachtungen stehen die Realinvestitionen.[2] Dabei kann die Flexibilität auf zwei Ebenen dargestellt werden: auf der Unternehmensebene unter Berücksichtigung aller relevanten Interdependenzen und unter Einbeziehung der vorhandenen Investitionsalternativen und auf der Objektebene unter Außerachtlassung der zwischen den Objekten bestehenden Interdependenzen.

Für die Zwecke der flexiblen Investitionsplanung soll zwischen vollständigen und unvollständigen Objektentscheidungen differenziert werden. Bei den vollständigen Objektentscheidungen des Realbereichs handelt es sich um Projekte, bei deren Durchführung keine oder nicht ins Gewicht fallende Änderungen möglich sind. Für bestimmte Aggregate gibt es zu einem gegebenen Zeitpunkt nur die zwei Alternativen: Anschaffung oder Verzicht auf Anschaffung, Änderungen während der Montage sind nicht mehr möglich. Vollständige Objektentscheidungen im Finanzbereich sind Finanzinvestitionen, bei denen der Freiheitsgrad sich auf die Wahl von Investitions- und Desinvestitionszeitpunkt beschränkt. Eine weitere mögliche Einschränkung resultiert aus einer ge-

---

1) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962, S. 271; ders., Kapitalbindung und optimale Kassenhaltung, in: Janberg, Hans (Hrsg.), Finanzierungshandbuch, Wiesbaden 1964, S. 404-412.

2) Anpassung im Realbereich kann einmal erfolgen im Rahmen einer vorhandenen Objektstruktur, sie kann aber auch u.U. zusätzlich, durch Investition oder Desinvestition herbeigeführt werden. Es sind dabei alle Investitionen, soweit sie nicht überwiegend der Veränderung der Umwelt dienen, als umweltbedingte Anpassungsmaßnahmen zu betrachten.

gebenen, unbeeinflußbaren Investitionsdauer (Vertragsdauer). Unvollständige Objektentscheidungen sind Entscheidungen, die der Vorbereitung leistungsabgabebereiter Einheiten dienen, die jedoch für die endgültige Ausgestaltung noch Variationsmöglichkeiten offenlassen. Die Flexibilität der Objektentscheidungen im Investitionsbereich besteht daher aus zwei Komponenten: der Mobilität in Bezug auf die Investitionsobjekte und der Entscheidungselastizität, welche durch eine mögliche Verlagerung des endgültigen Entscheidungszeitpunktes begründet wird.

2.1.1.1 Die Elastizität der Investitionsobjekte[1)]

Dieser Abschnitt befaßt sich mit jenen Verwendungsmobilitäten, die sich durch eine endgültige (vollständige) Objektentscheidung für die Gestaltung des Betriebsprozesses künftiger Perioden eröffnen. Dabei steht der Bereich der Realinvestitionen im Vordergrund der Betrachtung. Bei Finanzinvestitionen spielen Mobilitätsüberlegungen nur insofern eine Rolle, als sie Liquidierungskonditionen sowie künftige Wahl- und Umtauschrechte (z.B. Optionsanleihen, Wandelschuldverschreibungen) betreffen.

Die Anpassungsfähigkeit an veränderte Anforderungen und Umweltbedingungen wird von Objekt zu Objekt verschieden sein. Je stärker ein Projekt auf eine bestimmte Aufgabe zugeschnitten ist, um so geringer wird die Anpassungsfähigkeit bei Eintritt von Umweltbedingungen sein, die andere Aufgabenbereiche in den Vordergrund rücken. Bei der Beurteilung der Anpassungsfähigkeit ist die Ambivalenz in sachlicher und zeitlicher Richtung zu beachten. Der technische Bereich der Mobilität, die Anpassungszeit und die Kosten der Umstellung bilden bei gegebener Erwartungsstruktur den Maßstab für die Beurteilung des Anpassungsvorteils einer Anlage.

---

1) Vgl. auch Wittmann, a.a.O., S. 190-201

Für die Bestimmung des maximalen Elastizitätsgrades eines Investitionsobjektes ist es zunächst unwichtig, was die Anpassung kostet. Die Festlegung des optimalen Programms und damit der optimalen Anpassungsfähigkeit berücksichtigt demgegenüber die Anpassungskosten und die sonstigen relevanten Interdependenzen.

2.1.1.1.1 Die qualitative Elastizität

Der Begriff der qualitativen Elastizität beinhaltet die Anpassungsfähigkeit eines Entscheidungsobjektes an unterschiedliche Aufgaben. Die qualitative Mobilität der im Produktionsprozeß integrierten Aggregate liegt in der Fähigkeit, variierenden technischen Anforderungen gerecht zu werden, Anforderungen, die z.B. mit Produktvariationen, Variationen der Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffe, Verfahrensänderungen u.ä. verbunden sind, wobei es durchaus der Fall sein kann, daß einzelne Aufgaben bisher von anderen Leistungseinheiten wahrgenommen wurden. Für die nicht direkt mit der Produktion im Zusammenhang stehenden Betriebseinrichtungen (Werkhallen, sonstige Gebäude, Transporteinrichtungen etc.) lassen sich die technischen Anforderungen aus der qualitativen Zusammensetzung des Produktionsprogramms, aus der Gestaltung der Produktionsprozesse bzw. der vor-, parallel- oder nachgeschalteten Prozesse und aus der strukturellen Verknüpfung mit anderen Betriebseinrichtungen und deren Änderungen ableiten. Besondere Aufmerksamkeit verdienen die durch technischen Fortschritt verursachten Strukturverschiebungen. Die Beurteilung der qualitativen Mobilitäten auf der Ebene der betrieblichen Prozesse stößt auf einige Schwierigkeiten. Der mögliche Umfang des technischen Anpassungsspielraums einzelner Objekte kann verständlicherweise nicht durch einen allgemeinen Maßstab ausgedrückt werden. Darüber hinaus sind nicht alle möglichen Anforderungsarten bekannt. Es empfiehlt sich daher, eine qualitative Elastizitätsanalyse jeweils auf den Einzelfall abzustellen und die dabei in den Wahrscheinlichkeitsvorstellungen der Entscheidungsinstanzen auftretenden Anforderungsarten zu berücksichtigen. Zum anderen sind die Grenzen der Mobilität zumindest für einige Entscheidungsobjekte unscharf.

2.1.1.1.2 Die quantitative Elastizität

Es erscheint zweckmäßig, bei den Erörterungen zur quantitativen Elastizität auf die objektindividuellen Elastizitätsgrenzen (minimaler oder maximaler Elastizitätsgrad) abzustellen, da sie für die Ermittlung des optimalen Investitionsprogramms als Nebenbedingung von Bedeutung sind. Die quantitativen Elastizitätsschranken in Bezug auf eine Aufgabenart stimmen im Produktionsbereich mit den Kapazitätsgrenzen bei maximaler bzw. minimaler zeitlicher und intensitätsmäßiger Ausschöpfung des Leistungspotentials des betreffenden Objektes in einer Periode überein. Der effektive Mobilitätsgrad der Anlagen variiert in der Regel mit einer Reihe von Faktoren, wie z.B. Bedienungsart und -qualität, durchschnittliche Wartungszeit, Standort. Darüber hinaus wird die mengenmäßige Elastizität im Zeitablauf nicht notwendig konstant bleiben, vielmehr können Korrelationen zwischen Leistung und Lebensalter bzw. der technischen Nutzungsdauer - unabhängig von ihrer ökonomischen Relevanz - unterstellt werden. In gleicher Weise fungieren für Investitionen außerhalb des Produktionssektors in geeigneten Einheiten zu messende Mindest- bzw. Höchstleistungsvolumina als Maßstäbe des quantitativen Mobilitätsspielraums der Objekte (z.B. innerbetrieblicher Transportraum, Kapazität von Energiebetrieben, Lagerraum). Den Lägern - gleich welcher Reifestufe - fällt eine doppelte Mobilitätsfunktion[1)] zu, eine kurzfristige und eine langfristige. Die Ausnutzung temporärer Anpassungsvorteile und damit die Verbesserung der Anpassungsgeschwindigkeit durch vorsorgliche Bildung von Lagerbeständen kennzeichnet die kurzfristige Mobilitätsfunktion der Läger. Da auch bei Sicherheit über die Absatzlage hinsichtlich der kurzfristigen, quantitativen Mobilität des Betriebes bzw. einzelner Teilbereiche aus technischen bzw. organisatorischen Gründen Diskontinuitäten zwischen Produktion und Absatz auftreten können, werden Läger auch unter Sicherheit zur Harmonisierung benötigt, unabhängig davon, inwieweit Losgrößendegressionseffekte ausgenutzt werden können.

1) Zur Mobilitätsfunktion von Lägern vgl. Richardson, G.B., a.a.O., S. 153.

Die zweite, für die Investitionsplanung primäre Mobilitätsfunktion richtet sich auf die längerfristige Entwicklung der Unternehmensaktivitäten. Eine dauerhafte Steigerung des Absatzes und damit des durchschnittlichen Lagerbestandes erfordert höhere Lagerkapazitäten, die Nützlichkeit vorhandener Kapazitätsreserven wird evident.

Schwierigkeiten für eine objektindividuelle Mobilitätsanalyse ergeben sich aus der Existenz von Mobilitätsinterdependenzen.[1] Es bestehen nicht nur Beziehungen zwischen den im Betrieb vorhandenen Objekten, die in Erwägung gezogenen Investitionen können darüber hinaus die bestehenden Einflußstrukturen und damit den effektiven Anpassungsspielraum sowohl der bereits installierten als auch der neu anzuschaffenden Anlagen verändern. Wir werden an anderer Stelle auf die Frage der Mobilitätsinterdependenzen näher eingehen.

Eine strenge Trennung zwischen qualitativer und quantitativer Elastizität ist nicht möglich, da die quantitative Elastizität als Komponente der qualitativen Elastizität aufgefaßt werden kann. Beide Elastizitätsarten können durch eine Investitionsentscheidung berührt werden. Durch Umbau, Umgruppierungen, Ergänzungseinrichtungen werden z.B. qualitativ andersartige Objekte mit verändertem Leistungsspektrum sowohl quantitativer als auch qualitativer Art geschaffen.

2.1.1.1.3 Die Anpassungsgeschwindigkeit

Der Begriff der Anpassungsgeschwindigkeit umreißt das Maß der Zustandsänderung in einer gegebenen Zeiteinheit. Ihr maximaler Wert ist neben dem ex-ante- und ex-post-Zustand des Unternehmens bzw. des einzelnen Objekts c.p. von den aufgewendeten Anpassungsausgaben abhängig. Die Angabe einer maximalen, technisch erreichbaren Anpassungsgeschwindigkeit ist nicht sinnvoll, da sie i.a. außerhalb einer finanziell realisierbaren Größenordnung liegen wird. Neben finanziellen Restriktionen

---

1) Vgl. Klopsch, Wilhelm, a.a.O., S. 24-25.

können weitere betriebliche und außerbetriebliche Faktoren eine einschränkende Rolle spielen, z.B. die technischen Bedingungen in anderen Betriebsbereichen, die Situation im Beschaffungssektor, die betriebliche Personalstruktur, die Lage auf dem Arbeitsmarkt, gesetzliche Vorschriften und Konventionen und nicht zuletzt die Leistungsfähigkeit der Organisation und des Managements.

Besondere Erwähnung verdient die die Anpassungsintensität begünstigende Puffereigenschaft von Lagerbeständen. So kann z.B. durch eine absatzmarktbedingte Produktänderung sich die Relation der Einzelmaterialien in der Fertigung ändern. Es liegt auf der Hand, daß dann die temporelle Mobilitat der Aggregate nicht voll ausgenutzt werden kann, wenn entsprechende Rohmaterial- bzw. Teilfabrikatebestände fehlen.

2.1.1.2 Entscheidungszeitpunkt und Mobilität

2.1.1.2.1 Unvollständige Objektentscheidungen

Bei den unvollständigen Objektentscheidungen wird die Prozeßmobilität dadurch begründet, daß die endgültige technische oder rechtliche Ausgestaltung des Projekts noch nicht festliegt und dadurch ein Spielraum für verschiedene Möglichkeiten der Vervollkommnung der Objektentscheidung offengelassen wird.[1] Der Zeitpunkt der endgültigen Entscheidung wird als in Grenzen variierbar angenommen; er hängt von dem erreichten Informationsstand über die Anpassungsvor- und -nachteile ab. Die Möglichkeit, unvollständige Objektentscheidungen treffen zu können, ist von dem geplanten Projekt abhängig. Es gibt Projekte, deren endgültige Zweckbestimmung selbst auf die Vorarbeiten determinierend zurückwirkt. Ein Freiheitsgrad für die Festlegung der endgültigen Entscheidungen existiert nicht. Dagegen

---

1) Vgl. Bender, Kurt, Langfristige Unternehmensplanung, in: Dynamische Betriebsplanung zur Anpassung an wirtschaftliche Wechsellagen, Bd. 2 der Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Planungsrechnung e.V., Wiesbaden 1959, S. 15-30.

wird die Möglichkeit, derartige Projektentscheidungen in ihrer Gesamtheit zeitlich und damit mobilitätsbegründend aufzuschieben, im allgemeinen gegeben sein. Auf diesen Problemkreis wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Die Verzögerung der endgültigen Ausgestaltung bereits in Angriff genommener Maßnahmen eröffnet die Möglichkeit von Elastizitätsvorteilen in Bezug auf künftige Zahlungsströme. Aufgrund des Informationsstandes eines künftigen Zeitpunktes lassen sich i.a. die endgültigen Objektentscheidungen mit einem höheren Adäquanzgrad treffen als zur Zeit der Inangriffnahme. Dadurch werden mögliche Umstellungsnachteile vermieden, wie sie bei höherer Objektreife auftreten können. Aus der technischen Koppelung bei der Durchführung von Objektentscheidungen ergibt sich für die aufschiebende Zerlegung von Teilmaßnahmen eine untere Grenze. Je höher der zeitliche Zerlegungsgrad, d.h. je kleiner die Teilentscheidungen sind, die geschlossen realisiert werden sollen, um so größer sind die Beschaffungs- und Arbeitsprozeßnachteile bei der Fertigstellung. Die Dehnung der Realisierungsdauer der Gesamtentscheidung bringt gleichfalls Nachteile für den Beschaffungs- und Arbeitsablauf mit sich; hinzukommen können nachteilige Wirkungen auf die Prozeßtauglichkeit bereits in Betrieb befindlicher Anlagen und für die Durchführung anderer Projekte. Darüber hinaus sind infolge der möglichen Intensivierung der Arbeiten nach Festlegung der Gesamtentscheidung zeitliche Anpassungsausgaben denkbar (Überstunden, Beschaffungsnachteile etc.). Die erwähnten Nachteile können sich in den Zahlungsströmen des Investitionsobjektes, in den Gesamtzahlungsströmen des Unternehmens und in den Zahlungsströmen anderer Objekte niederschlagen.

Die Zerlegung der Gesamtentscheidung und die Festlegung der zeitlichen Abfolge der Teilmaßnahmen bis zur Inbetriebnahme des Projekts erfolgt unter Beachtung der möglichen Entwicklung des Informationsstandes. D.h., nach jeder Teilperiode bzw. Änderung des Informationsstandes wird die Zerlegung der

Restentscheidung und die zeitliche Abfolge der verbleibenden Teilentscheidungen neu festgelegt.

Kriterien für Zeitpunkt und Umfang der unvollständigen Objektentscheidung unter Beachtung der Erwartungsstruktur und der technisch und umweltbedingten Mobilitätsgrenzen bildet das Präferenzsystem der Unternehmensleitung bzw. der mit der Entscheidung betrauten Instanz. Hinsichtlich der Wahl des Zeitpunktes der ersten Teilmaßnahme gelten die gleichen Überlegungen, wie sie im nächsten Abschnitt für vollständige Objektentscheidungen angestellt werden.

2.1.1.2.2 Vollständige Objektentscheidungen

Ein bedeutungsvolleres Anwendungsgebiet findet die flexible Investitionsplanung bei der Variation des Entscheidungszeitpunktes vollständiger Objektentscheidungen. Bei Projekten, für die eine Zersplitterung der Gesamtentscheidung technisch nicht durchführbar oder auf Grund von Vorüberlegungen ökonomisch nicht ratsam erscheint, stellt sich die Frage, welche Gesichtspunkte für die Verschiebung der Entscheidung sprechen. Angestrebt wird, für die Realisierung einen möglichst günstigen Zeitpunkt zu wählen. Eine Verlegung des Realisierungszeitpunktes kann unter dem Aspekt des in der Zeit veränderlichen Informationsstandes zur günstigen Beeinflussung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zahlungsströme beitragen. Bei der Alternative: jetzige identische Wiederholung des Projekts A oder Herauszögerung bis zum Zeitpunkt t_1, wobei erwartet wird, daß in t_1 neben dem bisherigen Typ eine modernere Ausführung am Markt ist, wird man sich dann zu einem Aufschub der Entscheidung entschließen, wenn die durch die Verschiebung des Entscheidungs- bzw. Realisierungszeitpunktes verursachten Mehrausgaben und Gewinneinbußen durch den Vorteil verbesserter Anpassungsmöglichkeiten zu einem späteren Zeitpunkt überkompensiert werden. Gegebenenfalls kann bei der Planung auch von mehr als zwei Entscheidungs- bzw. Realisierungszeitpunkten

ausgegangen werden.[1]

Bei der Variation des Entscheidungszeitpunktes können mehrere Fälle unterschieden werden. Zunächst ist der Fall denkbar, daß der Entscheidungszeitpunkt (Beginn der Investitionstätigkeit) bei gegebener Realisierungszeit des Projekts in Grenzen variiert werden kann. Die Investitionsausgaben sind lediglich von den Umweltbedingungen im Anpassungszeitraum abhängig. Eine Modifikation ergibt sich, wenn der Zeitpunkt der Inbetriebnahme als fest vorgegeben angenommen wird. Der Zeitpunkt des Investitionsbeginns und damit die Ausführungszeit seien dagegen in Grenzen variabel. Unter diesen Voraussetzungen können mit der Ausführungszeit variierbare Investitionsausgaben auftreten. Schließlich bleibt als Normalfall der kombinierte Typ, bei dem sowohl der Zeitpunkt der Inangriffnahme der Investition als auch die Realisierungszeit in begrenztem Ausmaß variierbar sind. Von der Realisierungszeit abhängende Investitionsausgaben können auch hier auftreten. Da sowohl bei der ersten als auch bei der letzten Möglichkeit die Periodenzugehörigkeit des Investitionsvorhabens geändert werden kann, sind bei der Planung die zusätzlich auftretenden zeitlichen Interdependenzen zu beachten.[2] Natürlich müssen die erwähnten zeitlichen Variationsmöglichkeiten bestimmte Grenzen überschreiten, um im Rahmen von Investitionsüberlegungen Gegenstand eines Planungskalküls zu werden, zumal sich die Investitionsplanung mit großen Planungsabschnitten begnügen muß. Ferner werden bei der für Investitionsvorhaben üblichen Größenordnung Entscheidungsspielräume, die ein gewisses Minimum nicht überschreiten, im allgemeinen ohne einen beachtenswerten Einfluß auf die Zielgrößen bleiben. Berücksichtigt man eine mit Informationsausgaben verbundene Verbesserung des Informations-

1) Es kann sich als vorteilhaft erweisen, von einer kontinuierlichen Zeitbetrachtung auszugehen, und die Entscheidung von der Konstellation bestimmter Indikatoren abhängig zu machen.

2) Vgl. Moxter, Adolf, Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungstheorie, in: ZfbF, N.F., 17. Jg. (1965), S. 1-10.

standes, dann ergeben sich überdies Substitutionsmöglichkeiten zwischen Anpassungs- und Informationskosten. Die informationsausgaben werden, wenn dies durchführbar und sinnvoll ist, bei der Bestimmung des optimalen Investitionszeitpunktes mit herangezogen. Die ausgabeninduzierende Verbesserung des Informationsstandes[1], z.B. mit Hilfe einer eingehenden Marktanalyse, kann als Alternative der Retardierung von Entscheidungen unter Verzicht auf eine Erhöhung der Informationsausgaben gegenübergestellt werden. Im letzten Fall wird lediglich auf eine Verbesserung des Informationsstandes[1] im Zeitablauf bei gegebenen Informationsausgaben abgestellt. In den folgenden Abschnitten wird zunächst von einem gegebenen Informationsgrad in jedem beliebigen Zeitpunkt ausgegangen.

Die durch die Verschiebung des Investitionszeitpunktes bzw. durch die Verlängerung der Realisierungsdauer entstehenden finanziellen Reserven in Form von liquiden Mitteln, nicht in Anspruch genommenen Krediten, liquiditätsnahen Anlagen u.ä. sind jederzeit transformierbar und bilden daher, falls zwischenzeitlich kein Überschuß an liquiden Mitteln angesammelt werden kann, die notwendige finanzielle Basis für die Ausübung der hier angesprochenen Mobilität. Eine zwischenzeitliche, rentierliche Anlage der freien Mittel ist gerechtfertigt, wenn die Bindungsdauer den finanziellen Bedürfnissen des flexiblen Investitionsplans angepaßt ist. Ist in absehbarer Zeit mit einer Verknappung der finanziellen Mittel zu rechnen - etwa durch restriktive Maßnahmen der Bundesbank -, dann muß entsprechend der Liquiditätslage der Unternehmung die zeitliche Variation der Entscheidungsquanten eventuell rigoros eingeschränkt werden oder andernfalls auf eine Realisierung vorerst verzichtet werden. Die Situation kann sich auf die Alternative: Investition heute oder Aufschub bis zum Ende der restriktiven Liquiditätslage zuspitzen. Im übrigen gelten ähnliche Überlegungen für alle relevanten Engpässe des Beschaffungsmarktes, die eine

---

1) bezogen auf einen künftigen Zeitpunkt oder Zeitraum.

Variation des Entscheidungszeitpunktes und damit der betrieblichen Mobilität begrenzende Wirkung ist grundsätzlich die gleiche wie bei der Finanzierung.

2.1.2 Finanzierungsbereich

Unter Finanzierung ist die Bereitstellung von Geldmitteln für investive Zwecke zu verstehen. Investitions- und Finanzierungsbegriff lassen sich gemäß ihren Inhalten symmetrisch zuordnen.

In diesem Kapitel soll untersucht werden, welche Einflüsse von der Finanzierungsseite auf die Flexibilität der unternehmerischen Investitionsplanung ausgehen. Bei der Beurteilung der Flexibilität eines Finanzplanes ist zu prüfen, in welchem Maße die erforderliche Finanzierung von investiven Anpassungsmaßnahmen an veränderte Datenkonstellationen gesichert ist. Man kann drei Fälle unterscheiden: der Investitionsbereich bildet den Mobilitätsengpaß, der Finanzierungsbereich bildet den Mobilitätsengpaß, Investition und Finanzierung sind in Bezug auf die Mobilität aufeinander abgestimmt.

Zwei Komponenten sind auf der Finanzierungsseite für die Planflexibilität von Bedeutung: 1. die Art und Fristigkeit der Finanzierung der geplanten Investitionen, 2. das Finanzierungspotential des Unternehmens, seine Veränderungen und die damit im Zusammenhang stehenden Einflußfaktoren. Zwischen beiden Komponenten einerseits und dem zu realisierenden Investitionsprogramm andererseits bestehen Interdependenzbeziehungen sachlicher und zeitlicher Art, die bei der Planung von Investitionen und bei den damit verbundenen Flexibilitätsüberlegungen berücksichtigt werden müssen.

Analog zur Systematisierung von Mobilitäten und Mobilitätswirkungen im Investitionsbereich lassen sich im Finanzierungsbereich Realisierungs- und Verwendungselastizität in ihrer

qualitativen, quantitativen und zeitlichen Ausprägung unterscheiden. Die Realisierungselastizität kennzeichnet hier die Verfügbarkeit von Finanzierungsmitteln in quantitativer und qualitativer Hinsicht. Unter Verwendungselastizität einer Finanzierungsmaßnahme sind die mit ihr verbundenen Auswirkungen auf den künftigen Finanzierungsspielraum zu verstehen.

2.1.2.1 Der Einfluß von Art und Fristigkeit der geplanten Investitionsfinanzierung auf die Flexibilität der Investitionsplanung

Für die Gliederung nach Finanzierungsarten bietet sich die traditionelle Einteilung der Investitionsfinanzierung in Beteiligungs-, Selbst- und Fremdfinanzierung an, wobei der Fristigkeit besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

2.1.2.1.1 Beteiligungsfinanzierung

Ausmaß und Ausgestaltung der Beteiligungsfinanzierung sind im wesentlichen von der Rechtsform der Unternehmung abhängig. Es ist daher erforderlich, die einzelnen Elastizitätsarten nach diesem Gesichtspunkt zu untersuchen.

Bei der Einzelunternehmung hängt die Eigenfinanzierung von außen ausschließlich von der Liquiditätslage des Unternehmers im Privatbereich ab.

Für die Stille Gesellschaft können sich hinsichtlich der Einlage des Stillen Gesellschafters Elastizitätseinschränkungen ergeben. Zunächst wird die Realisierung einer Beteiligung in Form einer Stillen Gesellschaft i.a. kurzfristig nicht möglich sein (Kontaktaufnahme, Prüfung der wirtschaftlichen Lage, Vertragsgestaltung, Einlage). Die quantitative Realisierungselastizi-

tät wird neben imponderablen Faktoren von der wirtschaftlichen Lage der Unternehmung, der Kapitalstruktur und der Situation am Kapitalmarkt abhängen. Für eine spätere Erhöhung der Einlage des Stillen Gesellschafters können sich je nach Lage des Unternehmens günstigere Voraussetzungen ergeben. Was die Verwendungselastizität der Einlage betrifft, so ist die Vertragsgestaltung maßgebend. Die zugesicherten Gewinnauszahlungen und die Kündigungsmodalitäten schränken den künftigen Entscheidungsspielraum des Unternehmers ein.

Bei Personengesellschaften ergeben sich hinsichtlich der Erweiterung des Kreises der Gesellschafter und der Erhöhung der Einlagen ähnliche Überlegungen wie bei der Stillen Gesellschaft. Im übrigen sind die Beziehungen zwischen Unternehmung und Eigentümern in der Regel so eng, daß eine Zweckbindung der künftig frei werdenden Mittel von vornherein nicht vorgesehen ist. Der künftige Finanzierungsspielraum wird lediglich durch etwaige Zusagen über Gewinnausschüttungen bzw. bei der KG durch die abdingbare gesetzliche Ausschüttungspflicht gegenüber den Kommanditisten gemindert. Allerdings können beim Eintritt eines neuen Gesellschafters Verabredungen in Bezug auf das eingebrachte Kapital getroffen werden, die auf eine Zweckbindung der Mittel hinauslaufen. I.a. wird jedoch anzunehmen sein, daß die im Rahmen von derart beteiligungsfinanzierten Investitionen induzierten zukünftigen Einzahlungsströme einen hohen Freiheitsgrad in Bezug auf ihre Verwendung besitzen. Von der Beteiligungsfinanzierung in der obigen Unternehmensform geht daher in der Regel c.p. keine restriktive Wirkung auf die zukünftigen Elastizitätsvoraussetzungen aus. Eine Erweiterung des Finanzierungsspielraums wäre durch eine vertraglich regulierte Nachschußpflicht erreichbar. Sonstige positive Wirkungen, die möglicherweise eintreten können (Erhöhung des Kreditpotentials) werden in Kapitel 2.1.2.2 behandelt.

Bei der Beteiligungsfinanzierung in Unternehmen mit der Rechtsform der Aktiengesellschaft[1] tritt die institutionelle Trennung von kapitalgebenden Anteilseignern und Entscheidungsinstanz in den Vordergrund, so daß sich für die Beurteilung der finanzwirtschaftlichen Mobilität aus der Mehrzentrigkeit der Präferenzen neue Aspekte ergeben.[2] Geht man von der Entscheidungsdominanz der Geschäftsleitung aus, so spielen die Präferenzen der Anteilseigner nur eine limitierende und keine determinierende Rolle.[3] Die Beteiligungsfinanzierung aus einer Kapitalerhöhung wirkt daher nur insofern mobilitätsbegrenzend, als aus juristischen und/oder unternehmenspolitischen Gründen (z.B. Sicherung des Finanzierungspotentials, Behauptung von Vorstandspositionen) von den induzierten Nettoeinzahlungsströmen künftig ein bestimmter Prozentsatz für Dividendenzahlungen abgezweigt werden muß.[4] Verändern sich bei der Kapitalerhöhung die Beteiligungsverhältnisse wesentlich, so können vom Standpunkt der Geschäftsleitung aus zusätzliche Mobilitätsrestriktionen für die Verwendung der Rückflüsse wirksam werden. In der Regel wird wegen der besonderen Sachkenntnis der Geschäftsleitung und ihrer damit verbundenen Vertrauensstellung ihr Entscheidungsspielraum bei der Wiederanlage frei werdender Mittel

---

1) Auf eine besondere Darstellung der Zusammenhänge bei der GmbH wird hier verzichtet, da wegen der engen Beziehung zwischen Unternehmung und Anteilseignern die Beteiligungsfinanzierung den gleichen Bedingungen unterworfen ist wie bei den Personengesellschaften. Allerdings wird es wegen der Haftungsverhältnisse bei der GmbH i.a. einfacher sein, als Kapitalgeber neue Gesellschafter zu finden, als dies bei Personengesellschaften der Fall ist. Eine Erweiterung des Finanzierungspotentials ergibt sich ebenfalls durch satzungsmäßige Verankerung einer Nachschußpflicht.

2) Ähnliche Überlegungen können für die KG angestellt werden.

3) Vgl. Williamson, Oliver E., The Economics of Discretionary Behaviour: Managerial Objectives in a Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N.J., 1964, S. 13.

4) Vgl. Wessels, Theodor, Wachsende Starrheit der Unternehmungen und ihre Ursachen, in: ZfhF, N.F., 10. Jg. (1958), S. 66-74, hier S. 67; Baumol, William J., On Dividend Policy and Market Imperfection, in: Journal of Business, vol. 36 (1963), S. 112-115, hier S. 114.

aus beteiligungsfinanzierten Investitionen lediglich durch den groben Rahmen des im Gesellschaftsvertrag festgelegten Unternehmenszwecks begrenzt. Weitere Einschränkungen der Handlungsfreiheit können nur aus der Lage des Einzelfalls beurteilt werden. Der quantitativen Realisierungselastizität[1] sind durch den Kapitalmarkt und das individuelle Emissionsverfahren obere und untere Grenzen gesetzt. Die notwendigen Satzungsänderungen, der Druck der Aktien, das Zulassungs- und Zeichnungsverfahren nehmen geraume Zeit in Anspruch, die Anpassungsgeschwindigkeit im Rahmen der Beteiligungsfinanzierung bei Aktiengesellschaften ist daher gering zu bewerten.

Bei den bergrechtlichen Gewerkschaften liegen - solange eine Majorität gesichert ist - in der Möglichkeit, gegebenenfalls von den Gewerken Zubußen fordern zu können, Mobilitätspotentiale begründet, allerdings erwachsen aus dem Abandonrecht gewisse Einschränkungen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß bei beteiligungsfinanzierten Investitionen die Rechtsform der Unternehmung lediglich bei der Realisierungselastizität der Finanzierung einen bemerkenswerten Einfluß hat. Bei der Verwendungselastizität können besondere Hemmnisse nur bei jenen Rechtsformen auftreten, bei denen eine weitgehende Trennung zwischen Anteilseignern und Geschäftsleitung anzutreffen ist, d.h., wo zwei oder mehrzentrige Willensbildungen auf die Entscheidungsprozesse der Unternehmung einwirken.

2.1.2.1.2 Selbstfinanzierung

Bei der Finanzierung aus zurückbehaltenen Gewinnen und freigesetztem Kapital hängen Elastizität und Anpassungsgeschwindigkeit lediglich von der Liquiditätslage der Unternehmung und von eventuellen Auflagen, die aus anderen Finanzierungs-

1) Zum Begriff der Realisierungselastizität vgl. S. 8 und S. 21 dieser Arbeit

arten resultieren, ab. Zumindest, was die Anpassungsgeschwindigkeit betrifft, ist die Selbstfinanzierung bei entsprechender Liquiditätssituation anderen Finanzierungsarten überlegen. Auch die Verwendungselastizität ist günstig zu beurteilen, da nur die im Bilanzgewinn ausgewiesenen Anteile des Selbstfinanzierungspotentials der unmittelbaren Verfügungsgewalt der Geschäftsleitung z.T. entzogen sind.[1)2)] Denn über die Bildung von stillen und offenen Rücklagen entscheidet zunächst die Geschäftsleitung.[3)] Jedoch besteht bei schwankendem Kapitalbedarf kaum die Möglichkeit der Anpassung nach unten durch Ausschüttung frei werdender Mittel und Wiederaufnahme in späteren Perioden.[4)]

2.1.2.1.3 Fremdfinanzierung

Neben Eigenmitteln steht der Unternehmung gewöhnlich zur Finanzierung investiver Maßnahmen Fremdkapital zur Verfügung. Die mengenmäßige Mobilität der Realisierung einer Fremdmittelauf-

---

1) Vgl. Härle, Dietrich, Finanzierungsregeln und ihre Problematik, Schriftenreihe für Kreditwirtschaft und Finanzierung, hrsg. von K.F. Hagenmüller, Bd. 4, Wiesbaden 1961, S. 123; Langen, Heinz, Finanzplanung und betriebliche Elastizität, in: Stabilität durch betriebliche Elastizität, hrsg. von: Deutsche Gesellschaft für Betriebswirtschaft, Berlin 1968, S. 256-265, hier S. 265.

2) Unter Umständen kann allerdings eine Auflösung stiller Rücklagen ratsam sein, wenn z.B. die Ausschüttung einer angestrebten Mindestdividende bei der bisherigen Bewertungspolitik nicht möglich ist, so daß sich der finanzielle Anpassungsspielraum entsprechend einengt.

3) Die in § 125 des Aktiengesetzes 1937 getroffene Regelung war bis Ende 1965 gültig. Mit der großen Aktienrechtsreform wurde das Recht des Vorstandes und Aufsichtsrates, freie Rücklagen zu bilden, zu Gunsten der Hauptversammlung auf 50 % des Jahresüberschusses (vgl. § 58 Aktiengesetz 1965) begrenzt.

4) Vgl. Moxter, Adolf, Die Bestimmung des optimalen Selbstfinanzierungsgrades unter privatwirtschaftlichem Aspekt, in: Der Betrieb in der Unternehmung. Festschrift für Wilhelm Rieger, hrsg. von Johannes Fettel und Hanns Linhardt, Stuttgart 1963, S. 300-317, hier S. 306.

nahme zur Finanzierung von Investitionen sowie die Kreditbedingungen hängen von der Kreditart, der Kreditwürdigkeit der Unternehmung, dem Verwendungszweck und der allgemeinen Lage am Kapitalmarkt ab.[1] Für die Beurteilung der Kreditwürdigkeit ist die zu prognostizierende Entwicklung der unternehmerischen Liquiditätssituation entscheidend. Als Indikatoren können die Ertragslage und ihre voraussichtliche Entwicklung, die wiederum u.a. von der Branche und der Unternehmensgröße abhängen mag, die Haftungsverhältnisse, die Möglichkeiten der Kreditsicherung, die aus den vorhandenen Sicherheiten, Reallasten und Verpfändungen ableitbar sind, u.ä. eine Rolle spielen.[2] Hinsichtlich der Gewichtung der einzelnen Faktoren werden i.a. Substitutionsmöglichkeiten bestehen. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Realisierungszeit der Fremdkapitalaufnahme sind die bisherigen Bankverbindungen, die Bonität der Unternehmung, die Kreditart, die Höhe des Kredits und der Verwendungszweck. Man kann annehmen, daß zumindest bei Kapitalgesellschaften unter der Voraussetzung guter Bankverbindungen die Realisierungszeit und damit die finanzielle Anpassungsgeschwindigkeit langfristiger Bankkredite wesentlich günstiger sein wird als dies bei der Beteiligungsfinanzierung der Fall ist. Umgekehrt werden die Verhältnisse bei der quantitativen Realisierungselastizität liegen. Für die qualitative Verwendungselastizität werden sich vor allem bei hypothekarisch gesicherten Krediten im Regelfall keine Einschränkungen durch spezielle Zweckbindungen ergeben.

Die Fremdfinanzierung von Investitionsvorhaben führt wegen der vereinbarten Tilgungs- und Zinszahlungsbedingungen zu einer wesentlich stärkeren Begrenzung der Verfügbarkeit künftig

---

1) Nach der Lage am Kapitalmarkt richtet sich insbesondere die Möglichkeit, flexible Kreditbedingungen auszuhandeln. Vgl. Archer, Stephen H. and Charles A. D'Ambrosio, Business Finance, Theory and Management, New York-London 1966, S. 411.

2) Vgl. Härle, Dietrich, a.a.O., S. 121; Mellerowicz, K. und H. Jonas, Bestimmungsfaktoren der Kreditfähigkeit, 2. unveränderte Auflage, Berlin 1957.

frei werdender Mittel als dies bei der Beteiligungsfinanzierung der Fall ist.[1] Sind die Tilgungstermine für den Schuldner während der Laufzeit reversibel, dann erhöht sich natürlich die Elastizität der Finanzplanung.

Ein Beispiel für eine sehr elastische Kreditform ist das von Münemann entwickelte Revolvingsystem,[2] bei dem Sicht- und Termineinlagen, vornehmlich von Versicherungsgesellschaften, in langfristige, deckungsstockfähige Schuldscheindarlehen transferiert werden. Der vereinbarte Kreditbetrag kann voll oder teilweise in Anspruch genommen werden, er kann während der Laufzeit des Darlehens ganz oder teilweise zurückgezahlt werden, wobei die Kreditsumme bis zum Ende der Laufzeit weiter verfügbar bleibt. Im Rahmen des zugesagten Kreditbetrages ist also jederzeit sowohl eine Anpassung nach oben als auch nach unten möglich. Eine Zweckbindung der Mittel ist nicht vorgesehen. Das Revolvingsystem ist jedoch nur Unternehmen außerordentlicher Bonität zugänglich.[3]

Ähnliche, den Flexibilitätsgrad der Investitionsplanung wesentlich erhöhende Bedingungen sind u.U. auch bei langfristigen Bankkrediten erreichbar.

Für Großunternehmen bietet sich in der Emission von Obligationen eine zusätzliche Möglichkeit der Fremdkapitalaufnahme für Investitionszwecke. Die Realisierungsmobilität ist von Größe und Ruf des Unternehmens, von der Ausstattung der Anleihe und der Lage am Kapitalmarkt abhängig. Das Mindestvolumen wird durch institutionelle Regelung und durch die Höhe

---

1) Vgl. Wessels, Theodor, a.a.O., S. 67.

2) Vgl. Bellinger, Bernhard, Langfristige Finanzierung, Wiesbaden 1964, S. 102-104; Bitschnau, R., Das Revolvingsystem in der Industriefinanzierung, Diss. Mannheim 1959; v.Loesch, Achim, Das Revolving-Kreditsystem, in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd.118 (1962), S. 462-482; Staehle, Walter, Die Schuldscheindarlehen, Wiesbaden 1965, S. 47-59. Das Revolvingsystem hat allerdings aus verschiedenen Gründen in jüngerer Zeit an Bedeutung verloren. Vgl. dazu Staehle, Walter, a.a.O., S. 59.

3) Vgl. Bitschnau, R., a.a.O., S. 93.

der auflagefixen Kosten bestimmt. Die Zeit bis zur endgültigen Unterbringung richtet sich im wesentlichen nach den gleichen Faktoren wie der realisierbare Gesamtbetrag. Vorbereitung und institutionelle Emission der Obligation nehmen naturgemäß mehr Zeit in Anspruch als etwa die Aufnahme eines Bankkredits. Tilgungsfreiheit in den ersten Jahren und die kodifizierten Tilgungsbedingungen für die darauffolgende Zeit kennzeichnen den durch die Emission induzierten Einfluß auf die finanzielle Elastizität späterer Perioden. Eine Anpassung nach unten ist i.a. durch das Kündigungsrecht nach Einhaltung einer kündigungsfreien Zeit, durch freihändigen Rückkauf oder durch Mehrauslosung gewährleistet.[1] Durch Emission von Wandelschuldverschreibungen kann der künftige Abfluß der aufgenommenen Mittel z.T. verhindert und damit der Finanzierungsspielraum erhöht werden. Allerdings ist gegenüber der normalen Obligation die Ausgabe von Wandelschuldverschreibungen langwieriger.[2] Demgegenüber wird die Attraktivität bei entsprechender Gewinnerwartung der Anleger und damit die quantitative Realisierungselastizität höher sein. Andererseits wird sich aber in den Fällen, in denen sich infolge von Änderungen der Umweltbedingungen negative Gewinnabweichungen ergeben und daher zusätzliche Finanzierungsmobilitäten wünschenswert erscheinen, durch das Auftreten von Korrelationen zwischen Wandlungsquote und der Gewinnsituation der Unternehmung der erwartete Mobilitätsvorteil verflüchtigen.

Da bei den Schuldverschreibungen in der Regel kein Kündigungsrecht seitens des Gläubigers vorliegt, treten in dieser Hinsicht auch keine zusätzlichen Finanzierungsrestriktionen für zukünftige Planungsperioden auf.

---

1) Vgl. Reinboth, Helmut, Schuldscheindarlehen als Mittel der Unternehmensfinanzierung, Wiesbaden 1965, S. 154.

2) Vgl. §§ 192-201 Aktiengesetz i.d.F. vom 6.9.1965.

Für die langfristigen Realkredite ergeben sich grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie bei den Obligationen. Von der Art der Sicherung können ebenso wie bei den Obligationen negative Auswirkungen auf künftige Anpassungsmaßnahmen sowohl im Real- als auch im Finanzierungsbereich ausgehen. Es ist daher darauf zu achten, daß potentielle Realmobilitäten durch die Art der Kreditsicherung nicht zu drastisch beschnitten werden, z.B. durch rigorose Einschränkung des Verwendungsspielraums der hypothekarisch belasteten Grundstücke.

Die Aufnahme kurz- und mittelfristiger Kredite zur Finanzierung langfristiger Investitionsprojekte ist dann möglich, wenn durch Prolongation bei Ablauf oder durch Gläubigeraustausch eine realiter langfristige Finanzierung gewährleistet ist.[1] Eine derartige Finanzierung ist relativ teuer, gestattet aber der Unternehmung bei vorhandenem Kreditspielraum, die verfügbaren Finanzierungsmittel den wechselnden Erfordernissen anzupassen. Da jedoch die kurzfristige bzw. mittelfristige Finanzierung von langfristigen Kapitalbindungen in starkem Maße risikobelastet ist - z.B. kann die Prolongation verweigert werden, bzw. von einer Revision der Kreditbedingungen abhängig gemacht werden - und desweiteren bei entsprechendem Kreditspielraum der gleiche Zweck auch weitgehend mittels kurzfristiger Überbrückungskredite mit anschließender Ablösung durch langfristige Mittel erreicht wird, ergibt sich die Forderung nach einer Vermeidung übermäßiger Divergenzen zwischen Kapitalbereitstellungs- und Kapitalbindungsfristen.[2]

2.1.2.2 Finanzierungspotential und flexible Investitionsplanung

Die bisherigen Ausführungen haben zum Ausdruck gebracht, daß die Finanzierungselastizität Voraussetzung ist für die Ausnutzung der Anpassungsbereitschaft im Realbereich.

---

1) Vgl. Bellinger, Bernhard, a.a.O., S. 112-114.
2) ders., a.a.O., S. 113; Düchting, Hans, Liquidität und unternehmerische Entscheidung, Diss. München 1965, S. 183; Hoffmann, Rolf-R., Beziehungen zwischen Investition und Finanzierung, Berlin 1962, S. 88.

Der Umfang, in dem finanzielle Mittel zur Verfügung stehen bzw. durch entsprechende Dispositionen verfügbar werden - das Finanzierungspotential -, bildet die Grundlage der finanziellen Elastizität. Das Finanzierungspotential einer Unternehmung zu einem gegebenen Zeitpunkt setzt sich zusammen aus[1)]

- dem Bestand an liquiden Mitteln
- dem Bestand an Manövriermasse (liquiditätsnahe Objekte)
- der Geldmenge, die außerhalb der Unternehmung aufgenommen werden kann.

Im Idealfall wird die Zeitstruktur der realen Anpassungsmöglichkeiten nicht durch das Finanzierungspotential verzerrt. Wie bereits angedeutet wurde, besteht zwischen den geplanten und realisierten Investitions- und Finanzierungsalternativen auf der einen Seite und der zeitlichen Entwicklung des Finanzierungspotentials auf der anderen eine enge Verknüpfung. Die Liquiditätslage zu irgendeinem Zeitpunkt ist u.a. abhängig von den Investitions- und Finanzierungsentscheidungen der Vergangenheit. Das gleiche gilt für den Bestand an Manövriermasse im Hinblick auf die vorausgegangenen Investitionsentscheidungen. I.a. konkurrieren bei der Anschaffung von Objekten, die zur Manövriermasse zu rechnen sind, Rentabilitäts- und Sicherheitsstreben. Das Vorhandensein liquiditätsnaher Vermögensgegenstände trägt dazu bei, finanzielle Spannungen zu vermeiden oder zumindest zu dämpfen und erhöht darüber hinaus in der Regel die Anpassungsfähigkeit der Unternehmung.[2)]

---

1) Vgl. Richardson, G.B., a.a.O., S. 155.

2) Vgl. Witte, Eberhard, Die Liquiditätspolitik der Unternehmung, Tübingen 1963, S. 8-10; Härle, Dietrich, a.a.O., S. 122.

Die Ergiebigkeit der Kapitalquellen im Außenbereich resultiert aus dem Zusammenwirken einer Reihe von unterschiedlichen Faktoren. Rechtsform, Wahl des Kundenkreises, Investitions- und Finanzierungspolitiken sind z.B. entscheidende Einflußgrößen. Ausgehend von der Fragestellung dieser Untersuchung scheiden jene Einflußfaktoren aus, die nicht als Entscheidungsvariable der Investitionsplanung anzusehen sind.

Der Kapitalstruktur als Bestimmungsfaktor unternehmerischer Flexibilität im Finanzierungssektor kommt dabei besondere Bedeutung zu.[1)2)] Die Veränderung der Kapitalstruktur im Zusammenhang mit Investitionsentscheidungen hat direkte und indirekte Auswirkungen auf die künftige Dispositionselastizität der Unternehmung. Bei den direkten Auswirkungen handelt es sich um die aus der Art der Finanzierung resultierenden Bindungen künftig frei werdender Zahlungsmittelmengen. Dieser Komplex gehörte zum Problemkreis der vorangegangenen Abschnitte. Die indirekten Auswirkungen betreffen die Abhängigkeit des künftigen Finanzierungspotentials von der Kapitalstruktur des Unternehmens. Entscheidend für den Umfang des künftigen Finanzierungsspielraums ist neben dem Vorhandensein liquider oder liquiditätsnaher Mittel die Möglichkeit, bei Bedarf von außen Kapital in Form der Beteiligungs- oder Kreditfinanzierung aufzunehmen. Unter den die Grenzen der Außenfinanzierung beeinflussenden Komponenten, wie z.B. Rentabilitätslage, verfügbare Sicherheiten, nimmt die aktuelle Kapitalstruktur der Unternehmung einen vorrangigen Platz ein.[3)] Die Funktion des Eigenkapitals als Risikoträger führt dazu, daß c.p. bei zunehmender Verschuldung die Kredit- und Beteiligungs-

---

1) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962, S. 219, 269-271; Riebel, Paul, a.a.O., S. 159; Axmann, Norbert Joss, Flexible Investitions- und Finanzpolitik, Diss. Darmstadt 1959, S. 29

2) Auf die Beziehung zwischen Kapitalstruktur und Kapitalkosten soll hier nicht eingegangen werden.

3) Vgl. Jonas, Heinrich H., Grenzen der Kreditfinanzierung, Wiesbaden 1960, S. 317; Härle, Dietrich, a.a.O., S. 122.

fähigkeit des Unternehmens abnimmt.[1] Es ist daher erforderlich, Finanzstruktur und Flexibilitätsanforderungen soweit abzustimmen, daß die angestrebte Rentabilitäts- und Liquiditätslage auch angesichts unvollkommener Voraussicht weitgehend erreicht wird. Je unsicherer die Vorstellungen über den Erfolg geplanter Investitionen sind, um so mehr ist darauf zu achten, daß durch die Verbesserung der Kapitalstruktur bzw. durch Vermeidung einer Verschlechterung auch die finanziellen Voraussetzungen für mögliche künftige Anpassungsmaßnahmen geschaffen werden. Das Prinzip einer optimalen Kapitalstruktur unter Flexibilitätsgesichtspunkten gilt natürlich ebenso für Investitionspläne, in denen bereits greifbare Vorstellungen über zukünftige Veränderungen der relevanten Ausgangsdaten und über geeignete Reaktionen berücksichtigt werden können. Wird eine Entlastung der Kapitalstruktur für notwendig erachtet, dann muß versucht werden, Investitionen in stärkerem Maße als bisher mit Eigenkapital zu finanzieren. Für die Beurteilung, welche Kapitalstruktur im Einzelfall wünschenswert ist, bzw. welche Änderungen als unschädlich angesehen werden können, sind kaum eindeutige Aussagen, die das Verhältnis zwischen Kapitalstruktur und Finanzierungspotential betreffen, abzuleiten. Der Rückgriff auf bestimmte Finanzierungsregeln, die in der Praxis weitgehend Anerkennung genießen, erscheint daher - zumindest als Anhaltspunkt - legitim. Die unternehmensindividuelle Erfahrung auf diesem Gebiete der Finanzierungsstrategie wird i.a. Maßstäbe für die Modifizierung derartiger Regeln liefern.

Da es sich um die Analyse dynamischer Relationen handelt, ist die momentane Änderung der Kapitalstruktur, wie sie durch die Finanzierung der anstehenden Investitionen hervorgerufen wird, zunächst von zweitrangiger Bedeutung. Entscheidend ist, welche Einflüsse die bevorstehenden Investitions- und

---

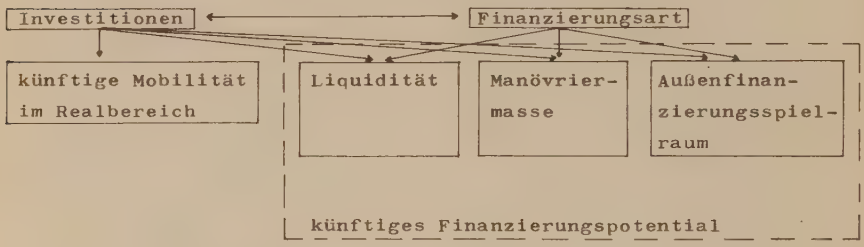
1) Vgl. Schwantag, Karl, Eigenkapital als Risikoträger, in: ZfhF, N.F., 15. Jg. (1963), S. 318-231; Jonas, Heinrich H., a.a.O., S. 320.

Finanzierungsmaßnahmen auf die Entwicklung der Kapitalstruktur in Zukunft haben. Der Freisetzungseffekt der Investitionen mildert bzw. verstärkt, je nach Finanzierungsart, den anfänglichen Struktureffekt der gewählten Finanzierungsform. Da jedoch mit zunehmender Unsicherheit die Prognose über die zu erwartenden Zahlungsströme und damit über die voraussichtliche Entwicklung der Kapitalstruktur immer unschärfer wird, gewinnt die gegenwärtige Veränderung der Kapitalstruktur als Leitlinie an Gewicht. Unsicherheitsgrad und Elastizitätsbedarf korrelieren auch in dieser Hinsicht.

Der zweite wichtige investitionspolitische Bestimmungsfaktor des künftigen Kapitalaufnahmepotentials liegt im Realbereich. Die Möglichkeiten zur Selbstfinanzierung ergeben sich aus der zeitlichen Verteilung der frei werdenden Mittel. Die Zusammenhänge zwischen der unternehmerischen Investitionspolitik und dem künftigen Finanzierungsspielraum auf dem Sektor der Beteiligungsfinanzierung sind in erster Linie durch die Rentabilität der getätigten Investitionen geprägt. Die potentiellen Anteilseigner werden sich in ihrer Anlagebereitschaft nach den zu erwartenden Gewinnauszahlungen und den Wertsteigerungen der Beteiligung richten, die nicht zuletzt auch von der Anpassungsbereitschaft der Unternehmung abhängen. Bei der Fremdfinanzierung steht die Sicherung des Kredits bei Beurteilung der Kreditwürdigkeit im Vordergrund. Neben die Erwartungen über die durch die geplanten und bereits realisierten Investitionen induzierte zukünftige Ertragslage des Unternehmens tritt die Eignung des betrieblichen Anlagevermögens zur dinglichen Sicherung des Kredits, welche wiederum das Ergebnis der bisherigen Investitionspolitik ist.

Eine Vorausbestimmung des künftigen Finanzierungspotentials bei unterschiedlicher wirtschaftlicher Entwicklung wird durch viele Imponderabilien erschwert. Besonders in angespannten Situationen ist das Verhalten der Kreditgeber entscheidend. Es kann für sie durchaus sinnvoll sein, Anpassungsmaßnah-

men des Unternehmens durch Prolongationen, Aufstockung der Kredite oder Verzicht auf eine Kündigung zu unterstützen, wenn damit gerechnet werden kann, daß dadurch eine Erholung der Unternehmung in die Wege geleitet wird. Die vielfältigen Verknüpfungen zwischen den für die Beurteilung der unternehmerischen Flexibilität wesentlichen, bei der Investitionsplanung zu berücksichtigenden Einflußfaktoren lassen sich in einem Pfeilschema wiedergeben (Abb. 1). Dabei charakterisieren die Pfeilverbindungen die bestehenden Abhängigkeiten im Hinblick auf die Dispositionselastizität der Unternehmung.



⟷ = restriktive Verknüpfungen
⟶ = funktionale Verknüpfungen

Abb. 1

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die mobilitätsfördernden und -hemmenden Eigenschaften einzelner Komponenten der Investitionsplanung untersucht. Es liegt auf der Hand, daß eine theoretisch korrekte Planung die dabei angeschnittenen Teilfragen, sofern sie vernachlässigbare Größenordnungen überschreiten, simultan behandeln muß. Die im vierten Teil der Arbeit vorgelegte theoretische Modellanalyse wird Gelegenheit bieten, einige dieser Aspekte quantitativ zu berücksichtigen.

3 Bestimmungsgründe für den Elastizitätsgrad unternehmerischer Investitionsentscheidungen

3.1 Die Analyse der Einflußfaktoren auf der Grundlage linearer Nutzenfunktionen

In diesem Kapitel soll geklärt werden, von welchen Faktoren der Grad der Flexibilität der Investitionspolitik der Unternehmung abhängt. Liegt der Zielfunktion eine lineare Nutzenfunktion (Risikoneutralität) zugrunde und konzentrieren sich die Nutzenvorstellungen auf das Unternehmensvermögen am Ende des Planungszeitraums,[1] so ist auf der Grundlage des Bernoulliprinzips[2] Maßstab für die investive Ausgestaltung des Unternehmens der Erwartungswert der kumulierten Einzahlungsüberschüsse unter Beachtung der gegebenen Restriktionen.[3] Die mögliche Beeinflussung der Streuung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Einzahlungsüberschüsse in den verschiedenen Perioden durch die Einplanung von Mobilitäten irgendwelcher Art ist daher unbeachtlich. Beachtlich für den Einsatz flexibler Maßnahmen ist lediglich die Erhöhung des Erwartungswertes der Einzahlungsüberschüsse. Allerdings übt die Streuung der Marktdaten mittelbar über den Erwartungswert der Einzahlungsüberschüsse einen bedingten Einfluß auf den Grad der Flexibilität der Planung aus.[4] Geht man davon aus, daß lediglich die Erwartungen über die künftig absetzbaren Mengen mehrwertig sind, dann bietet sich für die Analyse dieser Aus-

---

1) Vgl. zu dieser Zielsetzung Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, in: ZfbF, N.F., 16. Jg. (1964), S. 430-446, hier S. 436 und die dort angegebene Literatur.

2) Zum Bernoulli-Prinzip vgl. Schneeweiß, Hans, Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin-Heidelberg-New York 1967, S. 61-77.

3) Es wird hier von der Nutzenfunktion $u(x) = x$ ausgegangen.

4) Die Streuung kann mit Hilfe der Varianz, der Standardabweichung oder auch durch die mittlere Abweichung charakterisiert werden.

wirkungen, da für die zentralen Momente keine eindeutigen Beziehungen abgeleitet werden können, als Streuungsmaß die mittlere Abweichung in Bezug auf die maximal produzierbare Menge an. Im Falle der mehrdimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen[1)] wird der Grad der Flexibilität der Investitionspolitik durch die Streuung der Randverteilungen[1)] der Marktdaten beeinflußt. Im folgenden werden diese Zusammenhänge für Objektentscheidungen im Produktionsbereich auf der Basis ein- und zweidimensionaler Verteilungen näher erläutert, wobei unterstellt wird, daß der Planungszeitraum lediglich eine Periode betrage. Für den Zusammenhang zwischen Finanzierungselastizität und Streuung der Marktdaten gelten prinzipiell die gleichen Überlegungen.

3.1.1 Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Streuung der Marktdaten und der Vorteilhaftigkeit flexibler Objektentscheidungen bei eindimensionalen Verteilungen

Basiert der vorgelegte Planungsansatz auf einer eindimensionalen Merkmalsverteilung, d.h. wird nur ein Produkt hergestellt und abgesetzt und bestehen unsichere Erwartungen nur hinsichtlich eines Marktdatums, z.B. hinsichtlich des Preises oder der maximalen Absatzmenge, dann ist allein die quantitative Anpassungsmöglichkeit der Investitionsobjekte Grundlage für Flexibilitätsüberlegungen innerhalb der Investitionsplanung.

---

1) Mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen beziehen sich auf zufällige Ereignisse, die sich durch einen Vektor mit mehr als einer Komponente charakterisieren lassen. Z.B. kann die zufällige Veränderliche "Wetterlage am kommenden Wochenende" durch die Komponenten Temperatur, Niederschlagsmenge und Wolkenbildung beschrieben werden. Randverteilungen einer mehrdimensionalen zufälligen Veränderlichen beziehen sich auf jeweils eine Komponente der zufälligen Veränderlichen. Besteht z.B. das zufällige Ereignis in der Augenzahl, die bei einem Wurf mit zwei Würfeln erzielt wird, so gibt die Randverteilung die Wahrscheinlichkeiten an, mit denen das Eintreffen der Zahlen 1, ..., 6 beim Würfel 1 bzw. 2 zu erwarten ist.

Zum Zwecke der theoretischen Analyse werden drei Aggregattypen verglichen:

1. Aggregate mit Produktionszwang, bei denen die gegebene Kapazität jederzeit voll ausgenutzt werden muß, d.h. die effektive Ausbringung entspricht der gegebenen Kapazität (quantitativ unelastische Investitionsobjekte);
2. Aggregate ohne Produktionszwang, mit vorgegebener, innerhalb der Planungsperiode nicht veränderbarer Maximalkapazität, d.h. eine objektindividuelle Anpassung des Produktionsniveaus erfolgt nur innerhalb der Kapazitätsgrenzen (kapazitätsunelastische Investitionsobjekte);
3. Aggregate ohne Produktionszwang, mit vorgegebener, durch Anpassungsmaßnahmen in bestimmten Grenzen veränderbarer Maximalkapazität (begrenzt kapazitätselastische Investitionsobjekte).

Auf die Einbeziehung von Zwischenformen wird verzichtet. Um die Wirkungen der Streuung des Merkmals "absetzbare Produktionsmenge" bei konstanten Preisen auf den Erwartungswert der Zahlungsströme zu untersuchen, werden die verschiedenen Aggregattypen isoliert betrachtet. Es wird angenommen, daß subjektive Wahrscheinlichkeitsvorstellungen über die Absatzverläufe im Planungszeitraum existieren. Weiter wird unterstellt, daß Investitionsentscheidungen zu Beginn der Planungsperiode getroffen werden müssen, bevor bekannt ist, welcher der erwarteten Absatzverläufe tatsächlich eintreten wird. Dagegen bestehe bei der Festlegung der Produktion Gewißheit über den Absatz.

3.1.1.1 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei quantitativ unelastischen Investitionsobjekten

Für den Ein-Perioden-Fall und den Aggregattyp 1 kann folgendes lineares Absatzprogramm formuliert werden:

(3.1.1.1.1) $G_1 = \sum_j w^j \cdot p \cdot v^j - a_1 \cdot T_1 \cdot k_1 \longrightarrow \max.$

(3.1.1.1.2) $v^j \leqq a_1 \cdot T_1$ für alle j,

(3.1.1.1.3) $v^j \leqq M^j$ für alle j,

mit der trivialen Lösung:[1] $v^j = a_1 \cdot T_1$, falls $M^j > a_1 \cdot T_1$,

$v^j = M^j$, falls $M^j \leqq a_1 \cdot T_1$.

G_1 Produktionsgewinnerwartung beim Aggregattyp 1,

w^j Wahrscheinlichkeit für den Eintritt der Marktsituation j,

p Verkaufspreis pro abgesetzte Einheit,

v^j verkaufte Produktion in der Absatzsituation j,

a_1 Ausbringung pro Produktionszeiteinheit auf dem Aggregattyp 1,

T_1 Kapazität des Aggregattyps 1 in Zeiteinheiten,

k_1 Produktionskosten pro produzierte Einheit,

M^j maximal absetzbare Menge in der Marktsituation j.

Ist $a_1 \cdot T_1 > v^j$, so kennzeichnet $(a_1 \cdot T_1 - v^j) \cdot k_1$ die durch den Produktionszwang verursachten Kosten der Überproduktion (Kostenwert der unverkäuflichen Produkte).
Vernachlässigt man die kostenmäßigen Elastizitätswiderstände (Anschaffungs- und Umstellungsausgaben, mögliche Erhöhung der Produktionskosten), dann haben quantitativ elastische Aggregate immer dann eine höhere Deckungsbeitragserwartung, wenn

(3.1.1.1.4) mindestens ein $M^j > a_1 \cdot T_1$ und/oder

(3.1.1.1.5) mindestens ein $M^j < a_1 \cdot T_1$ ist.

---

1) Es wird von der Annahme ausgegangen, daß $p > k_1$.

Für den potentiellen Bruttovorteil vollkommener quantitativer Elastizität[1] ergibt sich bei gegebener Absatzsituation:

$$(3.1.1.1.6)\quad \Delta V_e^1 (a_1, T_1) = \sum_{j \in I_1} w^j \cdot (M^j - a_1 \cdot T_1) \cdot (p - k_1) + \sum_{j \in I_2} w^j (a_1 \cdot T_1 - M^j) \cdot k_1 \quad ,$$

$$I_1 = \left\{ j \in I \,\middle|\, M^j > a_1 \cdot T_1 \right\} \quad , \quad I_2 = \left\{ j \in I \,\middle|\, M^j \leq a_1 \cdot T_1 \right\} \quad ,$$

I = Indexmenge aller möglichen Absatzsituationen.

Der erste Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.1.6) erfaßt den Erwartungswert der Deckungsbeiträge, die aufgrund einer Kapazitätsanpassung zusätzlich erwirtschaftet werden können. Der zweite Ausdruck kennzeichnet den Kostenvorteil, der durch einen Wegfall des Produktionszwangs erzielt wird.

Wird durch die Erhöhung der kapazitativen Elastizität der Produktionszwang nicht beseitigt, dann vermindert sich natürlich der Elastizitätsvorteil um den zweiten Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.1.6) und um die mathematische Erwartung der mit Produktionskosten bewerteten zusätzlichen Überproduktion. Kann lediglich der Produktionszwang beseitigt werden, dann gilt ausschließlich der zweite Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.1.6).

---

1) Vollkommene quantitative Elastizität ist gegeben, wenn gewährleistet ist, daß die Ausbringungsmenge allen in Erwägung gezogenen Absatzmarktkonstellationen angepaßt werden kann.

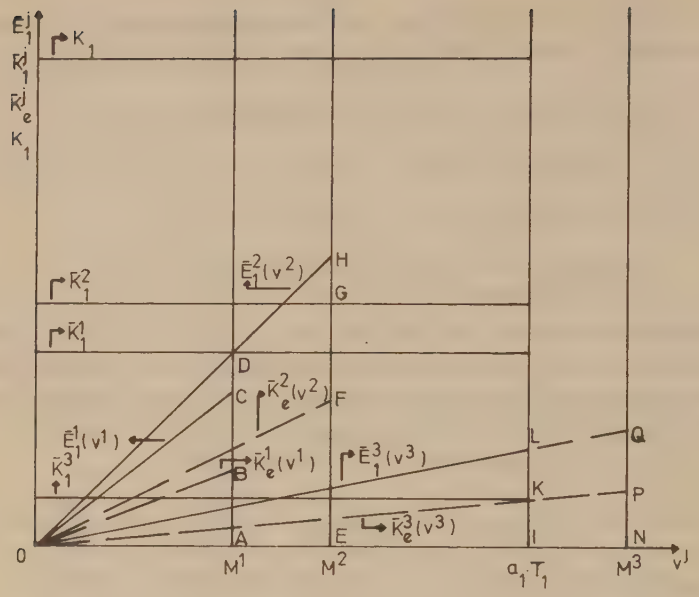


Abb. 2

Für die in Abbildung 2 eingezeichneten Funktionen gilt:

$\bar{E}_1^j(v^j) = w^j . p . v^j$ (die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit gewichteten Erlöse in der Absatzsituation j in Abhängigkeit von der abgesetzten Menge);

$K_1 = k_1 \cdot a_1 \cdot T_1$ (die gesamten Produktionskosten bei Zwangsproduktion);

$\bar{K}_1^j = w^j . k_1 \cdot a_1 \cdot T_1$ (die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Absatzsituation j gewichteten Produktionskosten im Falle der Zwangsproduktion);

$\bar{K}_e^j (v^j) = w^j \cdot k_1 \cdot v^j$ (die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Absatzsituation j gewichteten Produktionskosten in Abhängigkeit von der abgesetzten Menge unter der Annahme der vollkommenen quantitativen Elastizität des Aggregats).

Die Abbildung 2 dient der Verdeutlichung des Problems (3.1.1.1.1) - (3.1.1.1.3) und des Einflusses erhöhter quantitativer Anpassungsbereitschaft. Es wird von drei möglichen Datenkonstellationen ausgegangen, die durch die maximalen Absatzmengen M^1, M^2 und M^3 gekennzeichnet sind. Die Absatzrestriktionen bzw. die Kapazitätsrestriktion sind in der graphischen Darstellung durch zur Ordinate parallel verlaufende Geraden wiedergegeben. Die zugehörigen Abszissenwerte sind die in den unterschiedlichen Marktsituationen maximal absetzbaren Mengen M^1, M^2 und M^3 bzw. die maximal produzierbare Menge $a_1 \cdot T_1$. Des weiteren wurden die Summanden des ersten Teilausdrucks der Zielfunktion(3.1.1.1.1) eingezeichnet. Es sind dies die im Ursprung des Koordinatensystems beginnenden (durchgezogen gezeichneten) linearen Funktionen. Sie repräsentieren die mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Marktsituation gewichteten Erlöse in Abhängigkeit von den abgesetzten Mengen. Die unterschiedlichen Steigungen sind durch die unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten bedingt. Diese linearen Gliedfunktionen enden jeweils an den für sie in Frage kommenden Restriktionsgeraden. Der nur für den Fall der vollkommenen quantitativen Elastizität des Aggregats relevante Funktionsbereich (LQ) wurde gestrichelt gezeichnet.

Die zur Abszisse parallel verlaufenden Geraden geben die mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichteten Produktionskosten bei Produktionszwang wieder ($\bar{K}_1^1$, $\bar{K}_1^2$, $\bar{K}_1^3$). Ihre Summe entspricht den effektiv anfallenden Produktionskosten $k_1 \cdot a_1 \cdot T_1$ (zweiter Ausdruck auf der rechten Seite von(3.1.1.1.1)), die ergänzend ebenfalls eingezeichnet wurden. Die gestrichelt eingezeichneten, im Koordinatenursprung beginnenden linearen

Funktionen entsprechen den mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten der für möglich erachteten Marktsituationen gewichteten Kostenverläufen, wie sie für den Fall vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft des Aggregats unterstellt werden ($\bar{K}_e^1$, $\bar{K}_e^2$, $\bar{K}_e^3$).

G_1 wird maximiert, wenn jeweils die Endpunkte der Teilfunktionen $\bar{E}_1^j = w^j \cdot p \cdot v^j$ realisiert werden, da hier der gesamte Deckungsbeitrag am höchsten ist.

Der Bruttovorteil vollkommener Elastizität, wie er in (3.1.1.1.6) allgemein angegeben wurde, setzt sich im obigen, graphisch dargelegten Beispiel aus folgenden Komponenten zusammen:

Marktsituation 1: (AD - AC) + (AC - AB) = AD - AB = BD
Marktsituation 2: (EH - EF) - (EH - EG) = EG - EF = FG
Marktsituation 3: (NQ - NP) - (IL - IK) = PQ - KL

BD + FG entspricht dem 2. Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.1.6). PQ - KL entspricht dem 1. Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.1.6).

Für die mittlere Abweichung der maximal absetzbaren Mengen in Bezug auf $a_1 \cdot T_1$ erhält man: $m_1 = \sum_j w^j \cdot \left| M^j - a_1 \cdot T_1 \right|$.

Bezeichnet man den Teil der eben definierten Streuung, der die produktionstechnisch nicht realisierbaren Absatzmengen umfaßt, allgemein mit m', so daß $m_1' = \sum_{j \in I_1} w^j \cdot (M^j - a_1 \cdot T_1)$ und $m_1 - m_1' = m_1'' = \sum_{j \in I_2} w^j \cdot \left| M^j - a_1 \cdot T_1 \right|$, dann gilt hinsichtlich der Abhängigkeit des Elastizitätsvorteils von der Streuung bei konstanter mathematischer Erwartung μ der maximal absetzbaren Mengen und gegebenem a_1 und T_1 wegen (3.1.1.1.6) sowie

(3.1.1.1.7) $m_1' = \dfrac{m_1 - (a_1 \cdot T_1 - \mu)}{2}$ [1] und

---

1) Zum Beweis der Relationen (3.1.1.1.7) bzw. (3.1.1.1.8) vgl. Anhang.

(3.1.1.1.8) $m_1'' = \frac{m_1+(a_1 \cdot T_1 - \mu)}{2}$:

(3.1.1.1.9) $\Delta V_e^1 = f(m_1)=f(\varphi(m_1)) + f(\psi(m_1)) = (p-k_1)\cdot m_1' + k_1 \cdot m_1''$,

wobei $m_1' = \varphi(m_1)$ und $m_1'' = \psi(m_1'')$.

Der Bruttovorteil quantitativ elastischer gegenüber quantitativ unelastischen Aggregaten ist bei gegebener Kapazität und konstantem μ eine positiv steigende Funktion der mittleren Abweichung m in Bezug auf die Kapazitätsgrenze $a_1 \cdot T_1$. Das gleiche gilt, wenn die Verbesserung der Elastizität nur in einer Richtung möglich ist.

3.1.1.2 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei kapazitätsunelastischen Investitionsobjekten ohne Produktionszwang

Bei Aggregaten ohne Produktionszwang, jedoch mit unveränderlicher Maximalkapazität, kann folgendes Produktionsprogramm aufgestellt werden. Planungszeitraum ist wieder eine Periode.

(3.1.1.2.1) $G_2 = \sum_j w^j \cdot (p-k_2) \cdot a_2 \cdot t_2^j \longrightarrow \max.$

(3.1.1.2.2) $t_2^j \leq T_2$ für alle j,

(3.1.1.2.3) $a_2 \cdot t_2^j \leq M^j$ für alle j,

mit der trivialen Lösung: $t_2^j = T_2$, falls $M^j > a_2 \cdot T_2$, $t_2^j = \frac{M^j}{a_2}$,

falls $M^j \leq a_2 \cdot T_2$ (für $p > k_2$).

t_2^j = geplante Produktionszeit auf dem Aggregattyp 2 in der Marktsituation j.

Der Bruttovorteil vollkommener Elastizität hinsichtlich der zu produzierenden Mengen gegenüber der Mobilitätssituation beim Aggregattyp 2 reduziert sich bei gegebenen Absatzerwartungen auf den ersten Teil des Ausdrucks (3.1.1.1.6).[1)]

Wir erhalten daher:

$$(3.1.1.2.4)\quad \Delta V_e^2(a_2,T_2) = \sum_{j \in I_3} w^j.(M^j - a_2.T_2) \quad . \quad (p-k_2)$$

$$I_3 = \left\{ j \in I \,\middle|\, M^j > a_2.T_2 \right\}.$$

$\Delta V_e^2(a_2,T_2)$ umfaßt den mathematischen Erwartungswert der Dekkungsbeiträge, die bei vollkommener Anpassungsbereitschaft im Vergleich zu einem Aggregat mit der konstanten Kapazität $a_2.T_2$ zusätzlich erwirtschaftet werden könnten. Dieser Bruttovorteil sinkt mit wachsendem a_2 bzw. T_2.

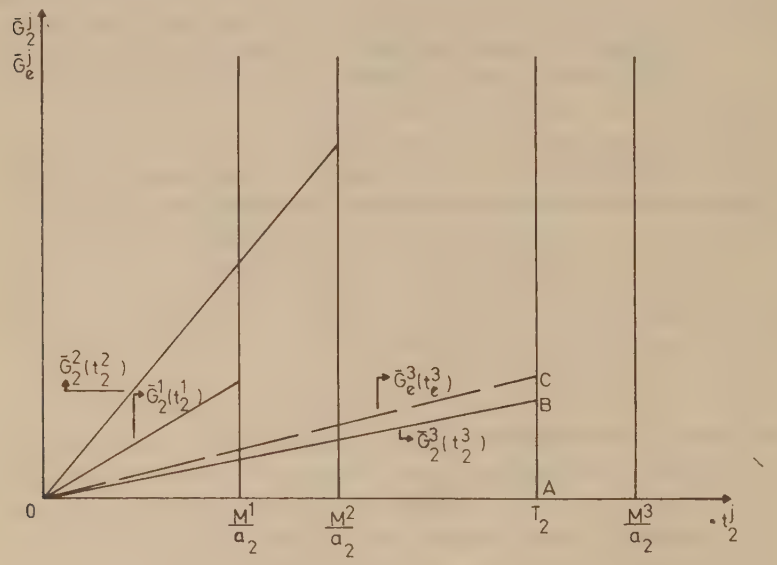


Abb. 3

1) Auch hier wird vereinfachend von der Annahme ausgegangen, daß die Auszahlungsströme von einer Änderung der Anpassungsbereitschaft nicht berührt werden.

Für die in Abbildung 3 eingezeichneten Funktionen gilt:

$\bar{G}_2^j(t_2^j) = w^j.(p-k_2).a_2.t_2^j$ (der mit der Eintrittswahrscheinlichkeit gewichtete Deckungsbeitrag in der Absatzsituation j in Abhängigkeit von der geplanten Produktionszeit im Falle eines kapazitätsunelastischen Aggregats);

$\bar{G}_e^j(t_e^j) = w^j.(p-k_2).a_e.t_e^j$ (der mit der Eintrittswahrscheinlichkeit gewichtete Deckungsbeitrag in der Absatzsituation j in Abhängigkeit von der geplanten Produktionszeit für den Fall vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft).

Es symbolisieren:

a_e Ausbringung pro Zeiteinheit bei vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft

t_e^j geplante Produktionszeit in der Absatzsituation j bei vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft

Abbildung 3 veranschaulicht das Optimierungsproblem (3.1.1.2.1) - (3.1.1.2.3) und die Konsequenzen, die sich aus der Erhöhung der quantitativen Anpassungsbereitschaft ergeben.

Die Abszissenabstände der Restriktionsgeraden $\frac{M^1}{a_2}$, $\frac{M^2}{a_2}$, $\frac{M^3}{a_2}$ und T_2 geben die Produktionszeiten an, die den maximalen Absatzmengen der für möglich gehaltenen Marktsituationen bzw. der maximalen Einsatzzeit des Aggregats entsprechen. Die linearen Funktionen $\bar{G}_2^j(t_2^j)$ geben die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Marktsituation j (j = 1, 2, 3) gewichteten Deckungsbeiträge in Abhängigkeit von der Produktionszeit wieder.

G_2 in (3.1.1.2.1) wird maximiert, indem die Endpunkte der Gliedfunktionen $\bar{G}_2^j$ realisiert werden.

Dem Elastizitätsvorteil (3.1.1.2.4) entspricht in dem Beispiel der Abbildung 3 der Betrag AC - AB = BC, wobei die gestrichelte Gerade $\bar{G}_e^3$ die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Marktsituation 3 gewichtete Deckungsbeitragsfunktion bei vollkommener quantitativer Elastizität darstellt. Die erhöhte Anpassungsbereitschaft schlägt sich in einer Erhöhung des Ausbringungskoeffizienten nieder ($a_e \geq \frac{M^3}{T_2}$). In der obigen Abbildung wurde von einer hypothetischen Erhöhung des Ausbringungskoeffizienten auf $a_e = \frac{M^3}{T_2}$ ausgegangen. Auf eine Transformation der Funktionen $\bar{G}_2^1$ und $\bar{G}_2^2$ wurde verzichtet, da hiervon der Elastizitätsvorteil, wie er in (3.1.1.2.4) zum Ausdruck kommt, nicht berührt wird.

Für ΔV_e^2 in Abhängigkeit von der Streuung erhält man

$$(3.1.1.2.5)\quad \Delta V_e^2 = f(m_2') = f(\varphi(m_2)) = (p-k_2)\cdot m_2' ,$$

wobei $m_2' = \overline{\sum_{j \in I_3}} w^j(M^j - a_2 \cdot T_2) = \frac{m_2 - (a_2 \cdot T_2 - \mu)}{2}$.

Gegenüber dem Fall 1 verändert sich der Wert der Zielfunktion unter der Annahme $a_1 \cdot T_1 = a_2 \cdot T_2$ um

$$(3.1.1.2.6)\quad \Delta G_{1,2} = m_1'' \cdot k_1 - (k_2 - k_1)\cdot\left(\overline{\sum_{j \in I_1}} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 + \overline{\sum_{j \in I_2}} w^j \cdot M^j\right).$$

Der erste Ausdruck auf der rechten Seite der Gleichung kennzeichnet den relativen Elastizitätsvorteil, der zweite den Erwartungswert der Produktionskostenveränderung, der mit ΔK bezeichnet werden soll. Im Falle $k_2 > k_1$ ist bei gleichen Investitionsausgaben und gleichen Fixkosten in diesem einfachen Modell Aggregat 2 vorteilhafter als Aggregat 1, wenn $f(\varphi(m_1)) > \Delta K$.[1)]

---

1) Dabei ist $f(\varphi(m_1)) = k_1 \cdot m_1''$, wie aus Gleichung (3.1.1.1.9) ersichtlich.

Der relative, kostenmäßige Anpassungsvorteil gegenüber der Zwangsproduktion ist evident. Abschließende Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von Investitionsobjekten des Typs 2 gegenüber solchen vom Typ 1, sofern überhaupt eine Wahlmöglichkeit gegeben ist, können erst gemacht werden, wenn neben den sonstigen, für die Beurteilung von Investitionsmaßnahmen wesentlichen Faktoren die Anschaffungsausgaben, die induzierten periodenfixen Ausgaben sowie k_1 und k_2 bekannt sind.

3.1.1.3 Die Auswirkung der Streuung der maximal absetzbaren Menge bei begrenzt kapazitätselastischen Investitionsobjekten ohne Produktionszwang

Für Investitionsobjekte ohne Produktionszwang, mit der zusätzlichen Möglichkeit der Kapazitätsausweitung kann das Einperiodenmodell wie folgt modifiziert werden, wobei angenommen wird, daß die variablen Kosten pro Ausbringungseinheit durch eine Veränderung der Kapazität nicht berührt werden.

(3.1.1.3.1) $$G_3 = \overline{\sum_{j,\beta}} w^j \cdot (p-k_3) \cdot a_{3\beta} \cdot t^j_{3\beta} - \overline{\sum_{\beta}} e_{3\beta} \cdot x_{3\beta} \longrightarrow \max.$$

(3.1.1.3.2) $$t^j_{3\beta} - T_3 \cdot x_{3\beta} \leqq \emptyset \quad \text{für alle } j \text{ und } \beta,$$

(3.1.1.3.3) $$a_{3\beta} \cdot t^j_{3\beta} \leqq M^j \quad \text{für alle } j \text{ und } \beta,$$

(3.1.1.3.4) $$\overline{\sum} x_{3\beta} = 1,$$

(3.1.1.3.5) $$x_{3\beta} = \text{ganzzahlig 0 oder 1.}$$

Der Index β symbolisiert unterschiedliche, durch die Ausbringung pro Zeiteinheit gekennzeichnete Kapazitätszustände des Aggregats. $x_{3\beta}$ ist eine binäre Variable (0,1-Variable), die je nachdem, ob sie den Wert 0 oder 1 annimmt, Ablehnung oder Befürwortung einer zu Beginn des Planungszeitraums realisier-

baren Erweiterungsmaßnahme kennzeichnet, um - ausgehend von der bereits verfügbaren Kapazität $a_{30}\cdot T_3$ - einen Kapazitätszustand $a_{3\beta}\cdot T_3$ ($\beta>0$) zu erreichen ($a_{3,\beta+1}>a_{3\beta}$)$\cdot e_{3\beta}$ symbolisiert die durch diese Maßnahme induzierten Ausgaben ($e_{30}=0$).

Es wird unterstellt, daß $p>k_3$ und daß $e_{3,\beta+1} \geq e_{3\beta}$ für alle β. Eine Erweiterungsmaßnahme ist nur dann von Vorteil, wenn bei gegebener Erwartungsstruktur

$$(3.1.1.3.6)\quad (m'_{3,0} - m'_{3\beta}).(p-k_3) - e_{3\beta} > 0 \ .$$

$$m'_{3,0} = \overline{\sum_{j\in I_4}} \; w^j.\left|M^j - a_{3,0}\cdot T_3\right|$$

$$\text{mit } I_4 = \left\{ j\in I \;\middle|\; M^j > a_{3,0}\cdot T_3 \right\},$$

$$m'_{3\beta} = \overline{\sum_{j\in I_{5\beta}}} \; w^j.\left|M^j - a_{3\beta}\cdot T_3\right|$$

$$\text{mit } I_{5\beta} = \left\{ j\in I \;\middle|\; M^j > a_{3\beta}\cdot T_3 \right\} .$$

D.h., der Erwartungswert der Deckungsbeiträge, die durch die Kapazitätserweiterung $(a_{3\beta} - a_{30}).T_3$ zusätzlich erzielt werden könnten, muß die Elastizitätsausgaben überschreiten.

Das Optimum wird durch Maximierung des Ausdrucks (3.1.1.3.6) erreicht.
Das Optimierungsproblem (3.1.1.3.1) - (3.1.1.3.5) wird in der Abbildung 4 graphisch veranschaulicht. Hinsichtlich der in Abbildung 4 eingezeichneten Funktionen gilt:

$$\bar{D}^j_{3\beta}(t^j_{3\beta}) = w^j.(p-k_3).a_3.t^j_{3\beta} \ , \quad \bar{e}^j_{3\beta} = w^j.e_{3\beta} \ , \quad \bar{G}^j_{30} = \overline{\sum_J}(\bar{D}^j_{30} - \bar{e}^j_{30}) \ ,$$

$$\bar{G}_{31} = \overline{\sum_J}(\bar{D}^j_{31} - \bar{e}^j_{31}) \ , \qquad \bar{G}_{32} = \overline{\sum_J}(\bar{D}^j_{32} - \bar{e}^j_{32}).$$

Es wird in diesem Beispiel angenommen, daß - ausgehend von der bisherigen Kapazität $a_{30}\cdot T_3$ - Kapazitätserweiterungen auf $a_{31}\cdot T_3$ bzw. $a_{32}\cdot T_3$ durchführbar sind. Die damit verbundenen Ausgaben betragen e_{31} bzw. e_{32}. Für die Planungsperiode werden lediglich zwei Marktkonstellationen in Erwägung gezogen, denen die Eintrittswahrscheinlichkeiten w^1 und w^2 zugeordnet sind. Die parallel zur Ordinate verlaufenden Geraden charakterisieren wiederum die den maximalen Absatzmengen entsprechenden Fertigungszeiten $\frac{M^j}{a_{3\beta}}$, die sowohl von der für möglich erachteten Marktsituation als auch von dem realisierten Kapazitätszustand abhängen, sowie

die in der Planperiode maximal realisierbare Einsatzzeit des Aggregats (T_3). Dabei wurde unterstellt, daß die realisierbare Einsatzzeit von der geplanten Ausbringung pro Fertigungszeiteinheit ($a_{3\beta}$) unabhängig ist. Die im Ursprung des Koordinatensystems beginnenden linearen Funktionen $\bar{D}_3^j(t_{3\beta}^j)$ kennzeichnen den in der Marktsituation j zu erwirtschaftenden, mit der dazugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit gewichteten Deckungsbeitrag in Abhängigkeit von der geplanten Produktionszeit, falls der Kapazitätszustand β realisiert worden ist. Es sind dies die Summanden des ersten Teilausdrucks der Zielfunktion (3.1.1.3.1). Für die Ermittlung des optimalen Kapazitäts-

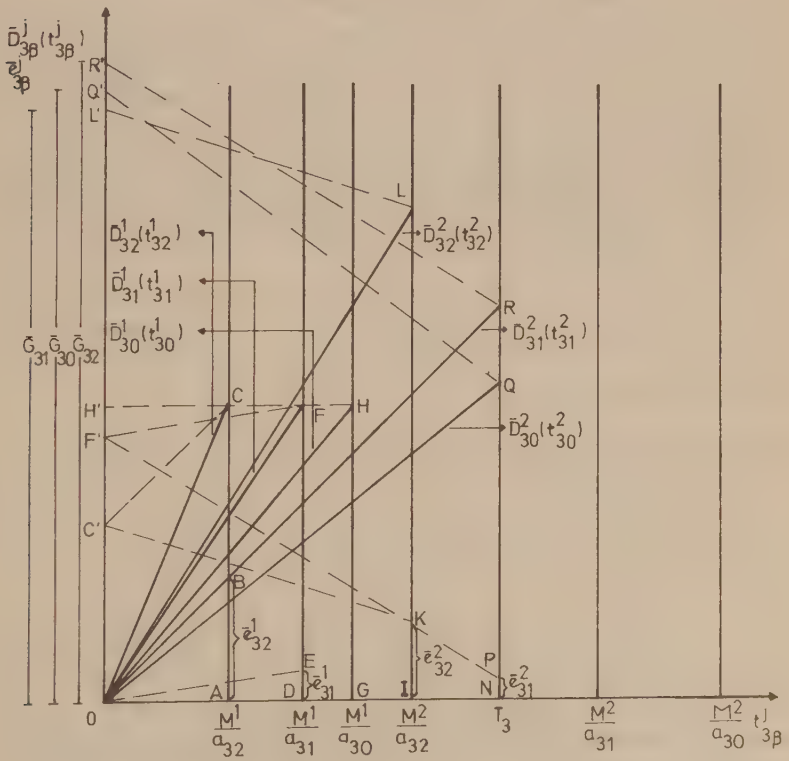


Abb. 4

niveaus[1] sind nur jene alternativen Fertigungszeiten $t^j_{3\beta}$ von Bedeutung, die den Endpunkten der eingezeichneten Deckungsbeitragsfunktionen entsprechen. Der Erwartungswert der Einzahlungsüberschüsse bei einem gewählten Kapazitätszustand ($\bar{G}_{3\beta} = \sum_j (\bar{D}^j_{3\beta} - \bar{e}^j_{3\beta})$) wird in folgender Weise ermittelt. Zunächst wird auf den dafür in Frage kommenden Restriktionsgeraden ($t^1_{32} = \frac{M^1}{a_{32}}$, $t^1_{31} = \frac{M^1}{a_{31}}$, $t^2_{32} = \frac{M^2}{a_{32}}$, $t^2_{31} = T_3$) der Betrag $\bar{e}^j_{3\beta}$ abgetragen. $\bar{e}^j_{3\beta}$ ist der mit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Marktsituation j gewichtete Ausgabenbetrag, der anfällt, falls die Kapazität des Aggregats vom Ausgangszustand $a_{30} \cdot T_3$ in den Zustand $a_{3\beta} \cdot T_{3\beta} (\beta > 0)$ überführt wird. Für $\beta = 0$ gilt $\bar{e}_{3\beta} = 0$. Für jedes β werden dann die verbleibenden Differenzen bis zu den Endpunkten der Deckungsbeitragsfunktion $\bar{D}^j_{3\beta}(t^j_{3\beta})$ über alle j summiert, so daß man die Erwartungswerte $\bar{G}_{3\beta}$ erhält. Die Werte für $\bar{G}_{3\beta}$ erhält man durch Projektion der den Differenzbeträgen $\bar{D}^j_{3\beta} - \bar{e}^j_{3\beta}$ zugeordneten Streckenabschnitte auf die Ordinatenachse. In der obigen graphischen Darstellung ergeben sich für $\bar{G}_{3\beta}$ ($\beta = 0, 1, 2$) folgende Werte:

$\bar{G}_{30} = GH + NQ = OH' + H'Q' = OQ'$,

$\bar{G}_{31} = EF + PR = OF' + F'R' = OR'$,

$\bar{G}_{32} = BC + KL = OC' + C'L' = OL'$.

Aus dem Vergleich der Ordinatenwerte folgt: $\bar{G}_{31} > \bar{G}_{30} > \bar{G}_{32}$. In dem der graphischen Darstellung zugrunde liegenden Beispiel wird daher die optimale quantitative Anpassungsbereitschaft durch Realisierung des Kapazitätsniveaus $a_{31} \cdot T_3$ erreicht.

Bei konstantem μ und variabler Streuung ist der Vorteil einer speziellen Erweiterungsmaßnahme und damit die Lage des Optimums wegen

---

1) Die Ermittlung des optimalen Kapazitätsniveaus ist gleichbedeutend mit der Ermittlung der optimalen quantitativen Anpassungsbereitschaft.

$$m'_{3,0} = \frac{m_{3,0}-(a_{3,0}\cdot T_3-\mu)}{2} \quad \text{und} \quad m'_{3\beta} = \frac{m_{3\beta}-(a_{3\beta}\cdot T_3-\mu)}{2}$$

von $m_{3,0}$ und $m_{3\beta}$ abhängig.

Unter der Voraussetzung, daß $a_2 = a_{3,0}$ und $T_2 = T_3$ verändert sich die Gewinnsituation im Verhältnis zum Fall 2 um

$$(3.1.1.3.7)\quad \Delta G_{2,3} = (m'_2 - m'_{3\beta}).(p-k_3) - \sum_{j\in I_6} w^j.M^j.(k_3-k_2)$$

$$- \sum_{j\in I_3} w^j.a_2.T_2.(k_3-k_2) - e_{3\beta}$$

mit $I_3 = \left\{ j\in I \mid M^j > a_2.T_2 \right\}$ und

$I_6 = \left\{ j\in I \mid M^j \leq a_2.T_2 \right\}$.

Der erste Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.3.7) repräsentiert den Erwartungswert der Deckungsbeiträge, die gegenüber dem Fall 2 zusätzlich erwirtschaftet werden könnten. Davon abzusetzen sind:

1. der Erwartungswert der Produktionskostenunterschiede zwischen den gegenübergestellten Mobilitätssituationen (zweiter und dritter Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.3.7)) und
2. die Ausgaben für die Erhöhung der quantitativen Anpassungsbereitschaft (letzter Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.1.3.7)).

Für $\Delta G_{1,3}$, die Veränderung der Bruttogewinnerwartung gegenüber dem Fall der Zwangsproduktion, erhält man

$$(3.1.1.3.8)\quad \Delta G_{1,3} = \Delta G_{1,2} + \Delta G_{2,3} \quad .$$

Um eine endgültige Entscheidung zu Gunsten eines Aggregattyps treffen zu können, ist es erforderlich, neben den variablen Kosten eventuelle Unterschiede bei den Anschaffungs- und periodenfixen Ausgaben einzubeziehen.

3.1.2 Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Streuung der Marktdaten und der Vorteilhaftigkeit flexibler Objektentscheidungen bei zweidimensionalen Verteilungen

Die Überlegungen der letzten Abschnitte können auf zwei- und mehrdimensionale Verteilungen ausgedehnt werden. Im folgenden wird der Einfluß der Streuung der Marktdaten auf die relative Vorteilhaftigkeit qualitativ elastischer Investitionsobjekte[1] für den Zwei-Produkt-Fall dargestellt. Wir werden zu diesem Zweck ebenfalls das oben definierte Streuungsmaß m, nun bezogen auf die jeweilige Randverteilung,[2] verwenden.

Gegeben sei die zweidimensionale Verteilung der maximalen Absatzmenge für die Produkte A und B: $w\ (M_A=M_A^j,\ M_B=M_B^k) = w^{jk}$, für alle j und k. Besteht der Planungszeitraum lediglich aus einer Periode, stehen zwei Aggregattypen zur Verfügung und erfolgt die Produktion lagerlos, dann läßt sich folgendes lineares Produktionsprogramm formulieren:

$$(3.1.2.1)\quad G = \sum_{j,k} w^{jk} \cdot \Big[(p_A - k_{1A}).a_{1A}.t_{1A}^{jk} + (p_A - k_{2A}).a_{2A}.t_{2A}^{jk} + (p_B - k_{1B}).a_{1B}.t_{1B}^{jk} + (p_B - k_{2B}).a_{2B}.t_{2B}^{jk}\Big] \longrightarrow \max.$$

$$(3.1.2.2)\quad t_{1A}^{jk} + t_{1B}^{jk} \leqq T_1 \quad \text{für alle j und k,}$$

$$(3.1.2.3)\quad t_{2A}^{jk} + t_{2B}^{jk} \leqq T_2 \quad \text{für alle j und k,}$$

$$(3.1.2.4)\quad a_{1A}.t_{1A}^{jk} + a_{2A}.t_{2A}^{jk} \leqq M_A^j \quad \text{für alle j und k,}$$

$$(3.1.2.5)\quad a_{1B}.t_{1B}^{jk} + a_{2B}.t_{2B}^{jk} \leqq M_B^k \quad \text{für alle j und k.}$$

G — Produktionsgewinnerwartung

w^{jk} — Wahrscheinlichkeit für den gleichzeitigen Eintritt der Marktsituationen j und k (Absatzsituation jk)

p_A, p_B — Verkaufspreis pro abgesetzte Einheit des Produktes A bzw. B

---

1) Zum Begriff der qualitativen Elastizität vgl. S. 9 dieser Arbeit.

2) Zum Begriff der Randverteilung vgl. Fußnote 1 auf S. 36 dieser Arbeit.

k_{1A}, k_{2A}, k_{1B}, k_{2B}	Produktionskosten pro produzierte Einheit des Produktes A bzw. B auf dem Aggregat 1 bzw. 2
a_{1A}, a_{2A}, a_{1B}, a_{2B}	Ausbringung pro Produktionszeiteinheit vom Produkt A bzw. B auf dem Aggregat 1 bzw. 2
t_{1A}^{jk}, t_{2A}^{jk}, t_{1B}^{jk}, t_{2B}^{jk}	geplante Produktionszeit für das Produkt A in der Absatzsituation jk auf Aggregat 1 bzw. 2 bzw. für das Produkt B in der Absatzsituation jk auf Aggregat 1 bzw. 2
T_1, T_2	Kapazität des Aggregats 1 bzw. 2 in Zeiteinheiten
M_A^j, M_B^k	maximal absetzbare Menge des Produktes A in der Marktsituation j bzw. des Produktes B in der Marktsituation k

Es läßt sich zeigen, daß bei gegebenem a_{1A}, a_{2B}, T_1 und T_2 qualitativ elastische Aggregate (a_{1B}, $a_{2A} > 0$) immer dann eine höhere Gewinnerwartung ermöglichen, wenn bei

(3.1.2.6) $k_{1A} < k_{2A}$ und

(3.1.2.7) $k_{2B} < k_{1B}$ sowie

(3.1.2.8) $(p_A - k_{1A}).a_{1A} > (p_B - k_{1B}).a_{1B} > 0$ und

(3.1.2.9) $(p_B - k_{2B}).a_{2B} > (p_A - k_{2A}).a_{2A} > 0$

(3.1.2.10) mindestens ein $M_A^j > a_{1A}.T_1$ und gleichzeitig mindestens ein $M_B^k < a_{2B}.T_2$ ist bzw. wenn

(3.1.2.11) mindestens ein $M_B^k > a_{2B}.T_2$ und gleichzeitig mindestens ein $M_A^j < a_{1A}.T_1$ ist.

In dieser Situation kann nämlich, wie man leicht sieht, die Gewinnerwartung gegenüber der Produktion auf Spezialaggregaten (a_{1B}, $a_{2A} = 0$) bei gleichbleibendem a_{1A}, a_{2B}, T_1, T_2, k_{1A} und k_{2B} um[1]

$$(3.1.2.12)\quad \Delta V_e(a_{1B},a_{2A}) = \overline{\sum_{j,k\in I_1}} w^{jk}\cdot a_{2A}\cdot\left(T_2-\frac{M_B^k}{a_{2B}}\right)\cdot(p_A-k_{2A})$$
$$+ \overline{\sum_{j,k\in I_2}} w^{jk}\cdot(M_A^j-a_{1A}\cdot T_1)\cdot(p_A-k_{2A})$$
$$+ \overline{\sum_{j,k\in I_3}} w^{jk}\cdot a_{1B}\cdot\left(T_1-\frac{M_A^j}{a_{2A}}\right)\cdot(p_B-k_{1B})$$
$$+ \overline{\sum_{j,k\in I_4}} w^{jk}\cdot(M_B^k-a_{2B}\cdot T_2)\cdot(p_B-k_{1B}),$$

mit $I_1 = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; (M_A^j-a_{1A}\cdot T_1) > a_{2A}\cdot\left(T_2-\frac{M_B^k}{a_{2B}}\right) > 0 \right\}$,

$I_2 = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; (M_A^j-a_{1A}\cdot T_1) \leqq a_{2A}\cdot\left(T_2-\frac{M_B^k}{a_{2B}}\right) > 0 \right\}$,

$I_3 = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; (M_B^k-a_{2B}\cdot T_2) > a_{1B}\cdot\left(T_1-\frac{M_A^j}{a_{1A}}\right) > 0 \right\}$,

$I_4 = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; (M_B^k-a_{2B}\cdot T_2) \leqq a_{1B}\cdot\left(T_1-\frac{M_A^j}{a_{1A}}\right) > 0 \right\}$,

I = Menge aller Indices j, k,
gesteigert werden.

Wie aus (3.1.2.12) ersichtlich, setzt sich im Zwei-Produkt-Fall der Anpassungsvorteil zweier Mehrzweckaggregate gegenüber zwei Spezialaggregaten aus 4 Komponenten zusammen. Die ersten beiden Ausdrücke erfassen die mit den dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten gewichteten Deckungsbeiträge, die zusätzlich mit Hilfe des Aggregats 2 erwirtschaftet werden könnten, falls die maximale Absatzmenge des Produkts A die Kapazität des Aggregats 1 überschreitet. Die beiden letzten Ausdrücke betreffen den

---

1) Es handelt sich hier wiederum nur um einen Bruttoelastizitätsvorteil, da insbesondere Unterschiede in den Anschaffungsausgaben, periodenfixen Ausgaben und den variablen Kostensätzen außer acht bleiben.

zusätzlichen Vorteil in der umgekehrten Situation, falls nämlich die maximale Absatzmenge des Produkts B die Kapazität des Aggregats 2 überschreitet und gleichzeitig freie Kapazitäten für dieses Produkt auf dem Aggregat 1 zur Verfügung stehen.

Je größer unter den gemachten Annahmen a_{2A} bzw. a_{1B}, d.h. je elastischer die Aggregate, um so größer ist ΔV_e und damit der optimale Zielfunktionswert in (3.1.2.1).[1]

Ist eine Erhöhung von a_{1B} bzw. a_{2A} bei gegebenem T_1 und T_2 ohne eine Verringerung von a_{1A} bzw. a_{2B} nicht möglich, dann muß der Bruttoelastizitätsvorteil in (3.1.2.12) entsprechend reduziert werden.

Der Vorteil erhöhter Flexibilität ist mit dem Vorteil einer relativen Spezialisierung zu vergleichen. Geht man von zwei Spezialaggregaten aus ($a_{1B} = a_{2A} = 0$) und betrachtet bei konstantem k_{1A} die Koeffizienten a_{1A} und a_{2A} als variabel, mit den dazugehörigen Ausgabesätzen d_{1A} und d_{2A}, dann ist eine Erhöhung von $\bar{a}_{1A}$[2] um Δa_{1A} (relative Spezialisierung) einer Erhöhung von $\bar{a}_{2A} = 0$ um Δa_{2A} nur vorzuziehen, wenn $\Delta G_1 > \Delta G_2$, unter der Annahme $\Delta G_1,\ \Delta G_2 > 0$, wobei wir für den Spezialisierungsvorteil

$$(3.1.2.13)\quad \Delta G_1(\Delta a_{1A}, \bar{a}_{1A}) = (p_A - k_{1A}) \cdot \sum_{j,k \in I_5} w^{jk} \cdot \Delta a_{1A} \cdot T_1 + (p_A - k_{1A}) \cdot \sum_{j,k \in I_6} w^{jk} \cdot (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1) - d_{1A} \cdot \Delta a_{1A},$$

---

1) Diese Aussage gilt nur, solange

$$(M_A^j - a_{1A} \cdot T_1) > a_{2A} \cdot (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}) > 0 \text{ bzw. } (M_B^k - a_{2B} \cdot T_2) > a_{1B} \cdot (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}}) > 0$$

für mindestens eine j-k-Kombination gewährleistet ist.

2) Mit $\bar{a}_{1A}$ bzw. $\bar{a}_{2A}$ sei die jeweilige Ausgangssituation gekennzeichnet.

mit $I_5 = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1) > \Delta a_{1A} \cdot T_1 \right\}$

und $I_6 = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; 0 < (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1) \leq \Delta a_{1A} \cdot T_1 \right\}$

und für den Elastizitätsvorteil

$$(3.1.2.14)\quad \Delta G_2(\Delta a_{2A}, \bar{a}_{1A}) = (p_A - k_{2A}) \cdot \overline{\sum_{j,k \in I_7}} w^{jk} \cdot \left(T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}\right) \cdot \Delta a_{2A}$$

$$+ (p_A - k_{2A}) \cdot \overline{\sum_{j,k \in I_8}} w^{jk} \cdot (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1)$$

$$- d_{2A} \cdot \Delta a_{2A},$$

mit $I_7 = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1) > \left(T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}\right) \cdot \Delta a_{2A} > 0 \right\}$

und $I_8 = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; 0 < (M_A^j - \bar{a}_{1A} \cdot T_1) < \left(T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}\right) \cdot \Delta a_{2A} \right\}$

erhalten.

Die ersten beiden Ausdrücke in den beiden Funktionen repräsentieren den durch den erwarteten Mehrabsatz verursachten Anstieg der mathematischen Gewinnerwartung, der dritte Ausdruck jeweils die Ausgaben für die Kapazitätserweiterung.[1] Die optimale Kombination von a_{2A} und a_{1A} kann nur simultan ermittelt werden. Analoge Beziehungen lassen sich für a_{1B} und a_{2B} auf-

1) Es ist anzunehmen, daß die Investitionsausgaben, die notwendig sind, um hinsichtlich einzelner Produkte bestimmte mengenmäßige Kapazitäten zu realisieren, bei Spezialaggregaten i.a. höher liegen werden als bei Mehrzweckaggregaten. Das gleiche gilt für die periodenfixen Ausgaben. Zur Verdeutlichung diene das folgende Beispiel.
Es seien zwei Investitionsalternativen gegeben:
a) Anschaffung von zwei Spezialaggregaten des Typs 1 und 2. Die Kapazität des Aggregats 1 liege bei 100.000 Einheiten des Produktes A, die von 2 bei 10.000 Einheiten des Produktes B in der Periode;
b) Anschaffung eines Mehrzweckaggregats vom Typ 3, mit dem alternativ die gleichen Produktmengen wie unter a) realisiert werden können.
In der Regel werden wegen der geringeren Gesamtkapazität im Falle b) die Investitions- bzw. periodenfixen Ausgaben niedriger sein als im Falle a).

stellen.

Der Bruttovorteil, der durch die Elastizität eines Aggregats in Bezug auf eine Produktart begründet wird, ist bedingt abhängig von der Streuung der relevanten Randverteilung. Das soll im weiteren gezeigt werden. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Die zufälligen Veränderlichen sind unabhängig verteilt (Korrelationskoeffizient $\varrho = 0$).

b) Die zufälligen Veränderlichen sind abhängig verteilt (Korrelationskoeffizient $\varrho \lessgtr 0$).

Die folgende Analyse beschränkt sich auf den Bruttoelastizitätsvorteil ΔV_e.

Fall a)

Steigt bei gegebener Betriebseinrichtung sowie konstantem μ_A und μ_B

$$(3.1.2.15)\quad m_A = \sum_{j,k \in I_9} w^{jk} \cdot \left| M_A^j - a_{1A} \cdot T_1 - (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}) \cdot a_{2A} \right| + \sum_{j,k \in I_{10}} w^{jk} \cdot \left| M_A^j - a_{1A} \cdot T_1 \right| ,$$

mit

$$I_9 = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}) > 0 \right\} , \quad I_{10} = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}) \leqq 0 \right\}$$

bzw.

$$(3.1.2.16)\quad m_B = \sum_{j,k \in I_{11}} w^{jk} \cdot \left| M_B^k - a_{2B} \cdot T_2 - (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}}) \cdot a_{1B} \right| + \sum_{j,k \in I_{12}} w^{jk} \cdot \left| M_B^k - a_{2B} \cdot T_2 \right| ,$$

mit

$$I_{11} = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}}) > 0 \right\} , \quad I_{12} = \left\{ j,k \in I \;\middle|\; (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}}) \leqq 0 \right\} ,$$

dann sinkt die Gewinnerwartung in (3.1.2.1). Wie man aus (3.1.2.12) leicht sieht, ist durch Erhöhung von a_{2A} bzw. a_{1B}, d.h. mit wachsender Elastizität des in Anspruch genommenen Aggregattyps zumindest Teilkompensation möglich und zwar so lange, solange

$$(3.1.2.17)\quad (M_A^j - a_{1A}\cdot T_1) > (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}})\cdot a_{2A} > 0 \text{ bzw.}$$

$$(3.1.2.18)\quad (M_B^k - a_{2B}\cdot T_2) > (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}})\cdot a_{1B} > 0 \text{ für irgendein } j$$

und irgendein k erfüllt ist.

Für den Zusammenhang zwischen potentiellem Elastizitätsvorteil ΔV_e [1], verursacht durch eine Erhöhung von $\bar{a}_{2A} = 0$ auf $a_{2A} > 0$, und der oben definierten Streuung erhält man unter den vorgenannten Bedingungen und unter den Annahmen $k_{2A} = \text{const.}$ und $\bar{a}_{1B} = 0$:

$$(3.1.2.19)\quad \Delta V_e^{2A}(m_A'(\bar{a}_{2A}=0),\ m_A'(a_{2A})\ )$$

$$= (p-k_{2A})\cdot m_A'(\bar{a}_{2A}=0) - (p-k_{2A})\cdot m_A'(a_{2A})\ ,$$

wobei $m_A'(\bar{a}_{2A}=0) = \overline{\sum_{j,k\in I_{12}}} w^{jk}\cdot(M_A^j - a_{1A}\cdot T_1)$ und

$$m_A'(a_{2A}) = \overline{\sum_{j,k\in I_{13}}} w^{jk}\cdot\left[M_A^j - a_{1A}\cdot T_1 - (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}})\cdot a_{2A}\right] + \overline{\sum_{j,k\in I_{14}}} w^{jk}\cdot(M_A^j - a_{1A}\cdot T_1)$$

mit $I_{13} = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; M_A^j - a_{1A}\cdot T_1 > (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}})\cdot a_{2A} > 0 \right\}$,

und

$$I_{14} = \left\{ j,k\in I \;\middle|\; M_A^j - a_{1A}\cdot T_1 > 0,\ (T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}})\cdot a_{2A} \leq 0 \right\}.$$

---

1) exklusive Investitions- und Umstellungsausgaben sowie Änderungen bei den periodenfixen und variablen Kosten.

ΔV_e^{2A}, ΔV_e^{1B} Potentieller Bruttoelastizitätsvorteil, verursacht durch eine Erhöhung des Ausbringungskoeffizienten $\bar{a}_{2A} = 0$ auf $a_{2A} > 0$ bzw. $\bar{a}_{1B} = 0$ auf $a_{1B} > 0$

Der erste Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.2.19) erfaßt den hypothetischen Bruttoelastizitätsvorteil bei vollkommener quantitativer Elastizität des Aggregats in Bezug auf das Produkt A. Ist die Bedingung (3.1.2.17) erfüllt, d.h., erlaubt die Erhöhung des Ausbringungskoeffizienten $\bar{a}_{2A}$ von 0 auf $a_{2A} > 0$ nicht unter allen für möglich erachteten Marktkonstellationen die Ausschöpfung der das Produkt A betreffenden Absatzgrenzen, so ist der nicht realisierbare Teil des vorerwähnten Elastizitätsvorteils wieder abzusetzen (zweiter Ausdruck auf der rechten Seite von (3.1.2.19)).

Wegen $m'_A(a_{2A}) = \dfrac{m_A(a_{2A}) - (a_{1A}.T_1 + \sum_{j,k \in I_9} w^{jk}.(T_2 - \frac{M_B^k}{a_{2B}}).a_{2A} - \mu_A)}{2}$

und $m'_A(\bar{a}_{2A} = 0) = \dfrac{m_A(\bar{a}_{2A}=0) - (a_{1A}.T_1 - \mu_A)}{2}$ 1)

läßt sich ΔV_e^{2A} auch in Abhängigkeit von m_A darstellen.

Für den Elastizitätsvorteil ΔV_e^{1B}, der sich ergibt, wenn bei $a_{2A}=0$ der Ausbringungskoeffizient $\bar{a}_{1B}=0$ auf $a_{1B}>0$ erhöht wird, besteht ebenfalls eine allerdings nur bedingte funktionale Abhängigkeit von der Streuung m_A.

Es gilt in diesem Fall

(3.1.2.20) $\Delta V_e^{1B} = (p_B - k_{1B}).m'_B(\bar{a}_{1B}=0) - (p_B - k_{1B}).m'_B(a_{1B})$,

wobei m'_B analog m'_A definiert ist.

Da $m'_B(a_{1B})$ unter Beachtung von (3.1.2.10) und (3.1.2.11) von $m'_A(a_{2A}=0) = \sum_{j,k \in I_{11}} w^{jk}.(a_{1A}.T_1 - M_A^j)$ und damit von $m_A(a_{2A}=0)$

1) Die Beweisführung für die hier angeführten Beziehungen entspricht der im Anhang wiedergegebenen Beweisführung, die auf die Beziehungen (3.1.1.1.7) bzw. (3.1.1.1.8) (vgl. S. 42-43 dieser Arbeit) abstellt.

funktional abhängt, solange die Bedingung

$M_B^k - a_{2B} \cdot T_2 > (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}}) > 0$ für alle $j \in I_{11}$ und alle $k \in I_{10}$, für die

das Kleinerzeichen gilt, erfüllt ist, trifft das gleiche auch für ΔV_e^{1B} zu.[1)]

Hinsichtlich des Einflusses der Streuung m_B auf die Vorteilhaftigkeit elastischer Maßnahmen können entsprechende Beziehungen gewonnen werden.

Aus (3.1.2.19) bzw. (3.1.2.20) wird deutlich, daß Unterschiede in der Streuung der relevanten Randverteilung c.p. dann zu einer Änderung des potentiellen Bruttovorteils einer bestimmten, die qualitative Elastizität erhöhenden Maßnahme führen, wenn

- Marktsituationen für möglich gehalten werden, in denen ein Kapazitätsengpaß bei einem Produkt ungenutzter Kapazität bei einem anderen gegenübersteht und wenn
- der durch diese Maßnahme begründete Kapazitätszuwachs von der Streuungsabweichung berührt wird.[2)]

---

1) Unter dieser Bedingung gilt nämlich:

$$m_B'(a_{1B}) = \overline{\sum_{j,k \in I_{11}}} \; \overline{\sum_{j,k \in I_{10}}} \; (M_B^j - a_{2B} \cdot T_2 - (T_1 - \frac{M_A^j}{a_{1A}})) \; ,$$

und wegen

$$m_A''(a_{2A}=0) = \overline{\sum_{j,k \in I_{12}}} \; (a_{1A} \cdot T_1 - M_A^j) \text{ folgt}$$

$$m_B'(a_{1B}, a_{2A}=0) = \overline{\sum_{j,k \in I_{12}}} \; \overline{\sum_{j,k \in I_{10}}} w^{jk} \cdot (M_B^j - a_{2B} \cdot T_2)$$

$$- \overline{\sum_{j,k \in I_{10}}} w^{jk} \cdot \frac{m_A''(a_{2A}=0)}{a_{1A}} \quad .$$

2) Die Erfüllung der zweiten Bedingung wird lediglich für die in (3.1.2.19) angesprochenen Komponente des potentiellen Elastizitätsvorteils gefordert. Für die in (3.1.2.20) zum Ausdruck gebrachten Zusammenhänge gilt die dort angegebene Bedingung.

Je höher unter diesen Bedingungen für ein bestimmtes Produkt in einer Periode die oben definierte Streuung, um so vorteilhafter wird das Vorhandensein qualitativer Elastizität in jenen Produktionsbereichen, in denen dieses Produkt hergestellt werden soll, da die sich bietenden Kompensationsmöglichkeiten im Falle gegenläufiger Marktkonstellationen bei anderen Produkten dieses Produktionsbereichs besser genutzt werden können.

Fall b)

Bei bedingten Verteilungen der relevanten Marktdaten zweier Güter wird der Bruttovorteil der qualitativen Elastizität in der Regel auch von der Art der Korrelation abhängen.[1] Da mit zunehmender positiver Korrelation zwischen den Marktdaten einzelner Produkte die Wahrscheinlichkeit für ein kongruentes Verhalten dieser Marktdaten wächst, schwindet die Voraussetzung für die Nutzung der qualitativen Elastizität von Investitionsobjekten. Das Gegenteil bewirkt eine verstärkte negative Korrelation.[2] Mehrzweckaggregate, die bei der Herstellung von Produkten mitwirken, deren Marktdaten eine negative Korrelation aufweisen, gestatten wegen ihrer Anpassungsfähigkeit eine günstigere Auslastung der Kapazität, als dies bei Spezialaggregaten möglich wäre. Eine Produktion auf Spezialaggregaten würde unter dieser Voraussetzung nur bei höherer Gesamtkapazität und daher in der Regel höheren Investitions- und periodenfixen Ausgaben die im Rahmen eines Mehrzweckaggregats erzielbare Umsatzerwartung erreichen.

3.1.3 Auswirkung der Merkmalsstreuung bei Verteilungen mit mehr als zwei zufälligen Veränderlichen

Eine Erweiterung der Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Streuung der Marktdaten und der Vorteilhaftigkeit mobiler Investitionsobjekte auf den allgemeinen, mehrdimensio-

1) Eine allgemeingültige funktionale Abhängigkeit konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

2) Vgl. Jacob, Herbert, Flexibilitätsüberlegungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 1-34, hier S. 4.

nalen Fall bringt keine wesentlich neuen Gesichtspunkte. Auf eine Formalisierung der Aussagen kann daher verzichtet werden.

Eine Vergrößerung der Anzahl der Zufallsvariablen ist in zwei Richtungen möglich:

- durch Vermehrung der Merkmalsträger (Produkte) und
- durch Vermehrung der Merkmale (z.B. Absatzmengen und -preise).

Wird die Programmplanung auf mehr als zwei Produkte ausgedehnt, dann bleiben die Beziehungen zwischen der Vorteilhaftigkeit[1] der qualitativen bzw. quantitativen Elastizität des Produktionsapparats in Bezug auf eine Produktart und der Streuung ihrer Randverteilung, wie sie oben für den Zwei-Produkt-Fall beschrieben wurden, grundsätzlich erhalten. Die Stärke dieses Einflusses wird i.a. mit der Anzahl der Korrelationsbeziehungen gleicher Richtung zu- bzw. abnehmen.

Führt man auch den Absatzpreis als Zufallsvariable ein, dann ändert sich ebenfalls nichts an der Struktur der aufgezeigten Verknüpfungen. Dabei wird je nach Art der Korrelation zwischen Absatzmenge und -preis der Bruttovorteil elastischer Maßnahmen positiv bzw. negativ beeinflußt.

3.1.4 Der Einfluß der zeitlichen Struktur der Erwartungen auf die Vorteilhaftigkeit von Mobilitäten

Die Erwartungen über die zeitliche Abfolge der relevanten Daten bilden einen weiteren Einflußfaktor im Hinblick auf die Vorteilhaftigkeit anpassungsfähiger Investitionsobjekte. Maßgebend ist die Art der Korrelation der Marktdaten der zeitlich aufeinanderfolgenden Stufen des stochastischen Prozesses.[2]

---

1) gemessen an der Bruttogewinnerwartung

2) zeitlich vertikale Korrelation

Folgt aus der Erwartungsstruktur eine über die Zeit wachsende Korrelation zwischen den produktindividuellen Zufallsvariablen aufeinanderfolgender Perioden, d.h. wird im Zeitablauf mit der Tendenz abnehmender Merkmalsstreuungen gerechnet, so ergibt sich daraus eine Tendenz abnehmender Flexibilitäts- und zunehmender Spezialisierungsvorteile in den betroffenen Produktionsbereichen. Solange noch ungewiß ist, in welche Richtung die Marktdaten tendieren werden, kann ein mobilitätsbegründender Spezialisierungsaufschub empfehlenswert sein. Dagegen wächst der relative Vorteil einer auf qualitative bzw. quantitative Anpassungsfähigkeit ausgerichteten Unternehmenspolitik in den Fällen, in denen die Übergangswahrscheinlichkeiten von der realisierten Marktsituation unabhängig sind[1] oder mit sinkender Korrelation zeitlich aufeinanderfolgender Randverteilungen gerechnet wird. Die hier angesprochene Anpassungsbereitschaft der Unternehmung bezieht sich auch auf die Fähigkeit, bei ungünstigen Marktkonstellationen Fixkosten abzubauen, ein Problem, das grundsätzlich der für den Fall der Zwangsproduktion in Abschnitt (3.1.1.1.) behandelten Fragestellung entspricht.

Auf das Zusammenspiel von zeitlich vertikaler Korrelation eines Produktmerkmals und der zeitlichen Entwicklung der horizontalen Korrelation zwischen den Merkmalen verschiedener Produkte lassen sich die komparativ-statischen Aussagen des Abschnitts 3.1.2, Fall b, anwenden. Sie beinhalten, daß die sich aus der Veränderung der Streuungen der Randverteilungen in der Zeit in Bezug auf den Bruttovorteil mobiler Objekte abgeleitete Tendenz je nach der zeitlichen Entwicklung der horizontalen Korrelation verstärkt, abschwächt oder bestätigt. Wird z.B. bei Prognosen über die Preisentwicklung bei bestimmten Produkten von einer positiven zeitlich vertikalen Korrelation ausgegangen, rechnet man aber für die Zukunft mit einer Verstärkung bestehender negativer Korrelationen zwischen einigen Produkten, dann wird der aus der Beurteilung der zeitlich verti-

---

1) Vorausgesetzt, daß aus anderen Gründen keine Verringerung der Merkmalsstreuung über die Zeit zu verzeichnen ist.

kalen Korrelation abzuleitende Spezialisierungsvorteil durch die entgegengesetzte Tendenz der zeitlich horizontalen Korrelationsbeziehungen reduziert.

Wird dem Marktgeschehen keine Stabilität zugetraut, dann wachsen gleichzeitig die Anforderungen an die temporelle Mobilität des Betriebes, da bei beträchtlicher Reaktionszeit die Gefahr besteht, daß man der Entwicklung hinterherläuft.[1)]

3.2 Die Analyse der Einflußfaktoren auf der Grundlage konkaver Nutzenfunktionen

In den bisherigen Modellen wurde unterstellt, daß der unternehmerischen Zielsetzung "Maximiere den Erwartungswert des Nutzens!" eine lineare Nutzenfunktion zugrunde liegt. Eine solche vereinfachende Prämisse wird i.a. der tatsächlichen Unternehmenspolitik nicht gerecht. Es muß vielmehr angenommen werden, daß gleiche Vermögensdifferenzen - abgesehen von ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten - nicht gleich bewertet werden, daß es vielmehr entscheidend auf die absolute Höhe der zu vergleichenden alternativen Vermögensbeträge ankommt. Es wird sich bei der Festlegung unternehmerischer Entscheidungen, zumindest in bestimmten Bereichen des Einkommens bzw. des in Geldbeträgen ausgedrückten Vermögens, Risikoabneigung unterschiedlicher Stärke niederschlagen. Einer risikoabgeneigten Haltung liegt nach dem Bernoulli-Prinzip eine konkave Nutzenfunktion zugrunde. Für eine rationale Entscheidung gilt dann nach dem Bernoulli-Prinzip als Ziel die Maximierung des mathematischen Erwartungswertes des Nutzens.[2)]

---

1) Ein bekanntes Beispiel für mangelnde zeitliche Anpassung bietet der von Hanau nachgewiesene Schweinezyklus.

2) Orientieren sich die Entscheidungen nur am Mittelwert und der Streuung der finanziellen Größen, dann gilt unter Beachtung des Bernoulli-Prinzips, wie Schneeweiß gezeigt hat, bei Risikoaversion die Präferenzfunktion $\Psi(\mu,\sigma) = \alpha \cdot \mu - \mu^2 - \sigma^2$ mit der dazugehörigen Nutzenfunktion $U(G) = \alpha \cdot G - G^2$. Vgl. Schneeweiß, Hans, Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin-Heidelberg -New York 1967, S. 96; Vgl. auch Markowitz, H.M., Portfolio Selection, New York 1959, S. 286-289.

Auch bei konkav gekrümmten Nutzenfunktionen begünstigt unter den Bedingungen, unter denen zwischen Merkmalstreuung und monetären Zielgrößen eine funktionale Beziehung abgeleitet werden kann, eine höhere Streuung der Marktdaten anpassungsfähigere Investitionsentscheidungen. Bei der Beurteilung rein quantitativer Mobilität ist zu beachten, daß infolge des abnehmenden Grenznutzens der durch eine Variation der Streuung verursachte Grenzvorteil zusätzlicher Mobilität[1] im Gegensatz zum Fall linearer Nutzenfunktionen sinkt. Aus dem gleichen Grunde sinkt bei gegebener Streuung der Merkmalsdaten der Grenznutzen wachsender Anpassungsbereitschaft für den risikoaversiven Entscheidungsträger stärker als für den risikoneutralen. Der absolute Betrag der Zuwächse ist abhängig von der Steigung der Nutzenfunktion. Gegenüber der bisher verwendeten standardisierten linearen Nutzenfunktion ergeben sich im Bereich $\frac{dU}{dG} > 1$ größere, im Bereich $\frac{dU}{dG} < 1$ geringere Veränderungen der mathematischen Nutzenerwartung.[2]

Die Analyse des Grenzvorteils qualitativ elastischer Investitionsobjekte in Abhängigkeit von der Streuung der Marktdaten eines Produktes führt hinsichtlich einer Kapazitätserweiterung zu Gunsten des betroffenen Produktes[3] zu den gleichen Ergebnissen. Demgegenüber besitzt diejenige Komponente des Elastizitätsvorteils, welche die potentielle Kompensation einer ungünstigen Marktentwicklung dieses Produkts bewertet,[4] auf der Basis konkaver Nutzenfunktionen eine progressive Steigung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung. Denn unter der Voraussetzung konkaver Nutzenfunktionen führen die mit dem Anwachsen der Streuung im Zusammenhang stehenden möglichen Verschlechterungen der Absatzlage zu progressiv steigendem Nutzenentgang.

---

1) Da hier zunächst wieder von Anpassungswiderständen abstrahiert wird, gelten die folgenden Aussagen streng nur für den aus der Veränderung der Umsatzerwartung abgeleiteten Bruttovorteil.

2) Hinsichtlich der Form der Nutzenfunktion vgl. Fußnote 2 auf S. 64 dieser Arbeit.

3) Vgl. Gleichung (3.1.2.19) auf S. 58.

4) Vgl. Gleichung (3.1.2.20) auf S. 59.

Die Wirkung der mit einer Erhöhung der Anpassungsbereitschaft verbundenen Auszahlungen auf den Nettovorteil der Anpassung unterscheidet sich bei konkav gekrümmten Nutzenfunktionen ebenfalls von derjenigen bei linearem Verlauf. Wegen des abnehmenden Grenznutzens bei Risikoaversion fällt der Nachteil zusätzlicher Ausgaben zur Aufrechterhaltung der Anpassungsbereitschaft mit steigender Anpassungsbereitschaft stärker ins Gewicht als bei Risikoneutralität.

Stellt man nun unterschiedliche, auf Grund des Bernoulli-Prinzips zulässige Präferenzfunktionen aus der (μ,σ)-Klasse[1] unter der Voraussetzung gleichen Anfangsvermögens gegenüber, so ist der Vorteil der Anpassungsbereitschaft von der Stärke der Risikoaversion abhängig.

Dabei ist zwischen den Auswirkungen quantitativer und qualitativer Anpassungsbereitschaft zu unterscheiden. Es sei zunächst der Ein-Produkt-Fall betrachtet. Je steiler die Indifferenzlinien im (μ,σ)-Präferenzfeld,[1] d.h. je größer die in monetären Einheiten gemessenen Vermögensdifferenzen, die einer vorgegebenen Nutzendifferenz zugeordnet sind,[2] je risikoaversiver also die Einstellung des Entscheidungsträgers, um so stärker macht sich der hemmende Einfluß der mit der Aufrechterhaltung der quantitativen Anpassungsbereitschaft verbundenen Ausgaben bemerkbar. Bei konstanter Verteilung der Einzahlungen nimmt daher der mit steigender quantitativer Anpassungsbereitschaft verbundene Nutzenzuwachs wegen der gleichzeitig wachsenden Ausgaben, die auch in ungünstigen Marktsituationen anfallen, mit erhöhter Risikoaversion ab. Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man, wenn man von der Gewinnstreuung bei unterschiedlicher Anpassungsbereitschaft ausgeht. Entsprechend ist auch die Entwicklung der Vorteilhaftigkeit zusätzlicher quantitativer Mobilität in Abhängigkeit von der Streuung der Marktdaten bei unterschiedlicher Risikoaversion zu beurteilen.[3]

---

1) Zum (μ,σ)-Prinzip und (μ,σ)-Präferenzfeld vgl. Schneeweiß, Hans, Entscheidungskriterien ..., a.a.O., S. 52-55.
2) Dies ist gleichbedeutend mit einer negativen Veränderung des Koeffizienten α in der in Fußnote 2 auf S. 64 dargestellten Nutzenfunktion.
3) Vgl. das weiter unten folgende Beispiel.

Eine abweichende Argumentation ergibt sich im Mehrproduktfall bei der Analyse des Einflusses unterschiedlicher Risikoaversion auf die Vorteilhaftigkeit qualitativ elastischer Aggregate. Die potentielle Kompensation ungünstiger Marktentwicklungen bei einem Produkt durch erhöhte Ausbringung bei einem anderen führt gegenüber einer Produktion auf Spezialanlagen zu einer relativen Verbesserung der Gewinnstreuung.[1] Gemäß dem Verlauf der Nutzenfunktion fallen bei dem weniger risikoaversiven Entscheidungsträger die durch die zusätzlichen Ausgaben steigender Anpassungsbereitschaft sich verschlechternden Gewinnchancen günstiger Marktkonstellationen, in denen der Elastizitätsvorteil nicht evident wird, relativ stärker ins Gewicht als bei dem risikoaversiveren. Mit zunehmender Risikoaversion wird daher ein höheres Elastizitätsniveau realisiert.[2]

Im folgenden werden die unterschiedlichen Auswirkungen der Streuungsänderung eines Marktdatums auf die quantitative Anpassungsbereitschaft für beide Arten von Nutzenfunktionen unter einfachen Bedingungen dargestellt. Auf eine entsprechende Ableitung für den Fall der Risikoneigung kann verzichtet werden, da sie durch Umkehrung der Argumente aus den Überlegungen zur Risikoaversion leicht zu gewinnen ist. Zur Vereinfachung der Darstellung werden nachstehende Annahmen gemacht:

1. Das Modell umfaßt eine Periode.
2. Es existiert nur ein, mit unsicheren Einnahmeströmen verbundenes, bereits im Betrieb befindliches Objekt. Die übrigen Kapitalanlagen des Unternehmens erzeugen sichere Einzahlungen.

1) Zum Einfluß des Elastizitätsniveaus auf die Gewinnstreuung vgl. auch Engels, Wolfram, a.a.O., S. 104-105.

2) Eine Einschränkung dieser These ergibt sich aus der Überlegung, daß in extrem ungünstigen Marktsituationen, in denen z.B. bei allen Produkten, die auf den Mehrzweckaggregaten eines Produktionsbereiches gefertigt werden können, Erlöseinbußen zu verzeichnen sind, die Ausgaben erhöhter Anpassungsbereitschaft bei dem risikoaversiveren Entscheidungsträger stärker ins Gewicht fallen. Je mehr Produkte allerdings von Mehrzweckaggregaten bearbeitet werden können und je geringer die Anzahl der positiven Korrelationsbeziehungen zwischen diesen Produkten ist, um so weniger Gewicht kommt diesem Einwand zu.

3. Zugrunde liegt eine eindimensionale, zweiwertige, symmetrische Merkmalsverteilung.

4. Der Erwartungswert der Merkmalsverteilung bleibt konstant.

5. Die durch die Anpassungsbereitschaft verursachten Ausgaben sind von der geplanten Kapazität linear abhängig.

Erklärung der verwendeten Symbole

a	Ausbringungskoeffizient (a_0 kennzeichnet die Ausgangssituation)
d	Ausgaben je Einheit des Kapazitätskoeffizienten a
G	Gewinnerwartung
k	proportionale Stückkosten
p	Absatzpreis
T	Kapazität in Fertigungszeiteinheiten
w_1, w_2	Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Absatzsituation 1 bzw. 2[1]
M_1, M_2	maximal mögliche Absatzmengen in der Absatzsituation 1 bzw. 2
μ_M	mathematische Erwartung der maximal absetzbaren Mengen
σ_M	Standardabweichung der maximal absetzbaren Mengen[2]
μ_G	mathematische Erwartung des Gewinns ohne Kapazitätsanpassung
σ_G	Standardabweichung des Gewinns ohne Kapazitätsanpassung

1) Wegen Bedingung 3 gilt $w_1 = w_2 = 0,5$

2) Bei quadratischen Nutzenfunktionen empfiehlt es sich, zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Merkmalsstreuung und Anpassungsbereitschaft die Standardabweichung oder Varianz zu verwenden.

μ_G: mathematische Erwartung des Gewinns bei vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft

σ_G: Standardabweichung des Gewinns bei vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft

Für die Verteilung der maximal möglichen Absatzmengen sollen zusätzlich folgende Bedingungen gelten:

(3.2.1) $M_1 \leqq a_0 . T \leqq M_2$.

Für mathematische Erwartung und Standardabweichung der Merkmalsverteilung gelten die Definitionen

$\mu_M = w_1 . M_1 + w_2 . M_2 = a_0 . T$ und

$\sigma_M = w_1 . (\mu_M - M_1)^2 + w_2 . (M_2 - \mu_M)^2 = \mu_M - M_1 = M_2 - \mu_M$.[1)]

In der graphischen Darstellung[2)] wurde $a_0 = 5$, $d = 0{,}6$, $(p-k) = 2$ und $T = 1$ gesetzt.

3.2.1 Darstellung der Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei konstanter Kapazität

(3.2.1.1) $\mu_G = (p-k) . (0{,}5 . M_1 + 0{,}5 . a_0 . T) - d . a_0$

$= (p-k) . 0{,}5 . a_0 . T - d . a_0 + (p-k) . 0{,}5 . M_1$

(3.2.1.2) $M_1 = \dfrac{\mu_G}{(p-k) . 0{,}5} - a_0 . T + \dfrac{d . a_0}{(p-k) \cdot 0{,}5}$

(3.2.1.3) $\sigma_M = \sqrt{0{,}5 \cdot (\mu_M - M_1)^2 + 0{,}5 \ (M_2 - \mu_M)^2}$

$= \mu_M - M_1$ [3)]

---

1) Gemäß Annahme 3 gilt nämlich $\mu_M - M_1 = M_2 - \mu_M$.

2) Vgl. S. 75

3) Vgl. die Definition von σ_M sowie Fußnote 1 auf dieser Seite

(3.2.1.4) $M_1 = \mu_M - \sigma_M$

Setzt man (3.2.1.4) in (3.2.1.1) ein, dann erhält man:

(3.2.1.5) $\mu_G = (p-k).0,5.a_0.T-d.a_0+(p-k).0,5.\mu_M-(p-k).0,5.\sigma_M$

und wegen $\mu_M = a_0.T$

$$\mu_G = (p-k).a_0.T-d.a_0-(p-k).0,5.\sigma_M \ .$$

3.2.2 Darstellung der Gewinnstreuung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei konstanter Kapazität

(3.2.2.1) $\sigma_G = \sqrt{0,5.\left[(p-k).M_1-d.a_0-((p-k).(0,5.M_1+0,5.a_0.T)-d.a_0)\right]^2 \cdots}$

$$\cdots \overline{+ \left[0,5.\ (p-k).a_0.T-d.a_0-((p-k).(0,5.M_1+0,5.a_0.T)-d.a_0)\right]^2}$$

$$\sigma_G = (p-k).\sqrt{\left[0,5.\ M_1-(0,5.M_1+0,5.a_0.T)\ \right]^2 \cdots}$$

$$\cdots \overline{+ 0,5.\left[a_0.T-(0,5.M_1+0,5.a_0.T)\right]^2}$$

$$= (p-k).0,5.a_0.T-(p-k).0,5.M_1 \ .$$

(3.2.2.2) $M_1 = -\dfrac{\sigma_G-(p-k).0,5.a_0.T}{(p-k).0,5}$

Setzt man (3.2.2.2) in (3.2.1.4) ein, so erhält man:

(3.2.2.3) $\sigma_G = (p-k).0,5.a_0.T-(p-k).0,5.\mu_M+(p-k).0,5.\sigma_M$

und wegen $\mu_M = a_0.T$

$$\sigma_G = (p-k).0,5.\sigma_M \ .$$

3.2.3 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Gewinnstreuung bei konstanter Kapazität

Aus (3.2.1.5) und (3.2.2.3) folgt

$$(3.2.3.1)\quad \mu_G = (p-k).a_0.T-d.a_0-\sigma_G \ .$$

3.2.4 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität

Soll durch die Investitionsentscheidung stets für vollkommene quantitative Anpassungsbereitschaft gesorgt werden, dann gilt für das Einperiodenmodell

$$(3.2.4.1)\quad a(\sigma_M) = \frac{\mu_M+\sigma_M}{T} = \frac{M_2}{T} \ ,$$

da annahmegemäß $M_2 = \mu_M + \sigma_M$.

Aus (3.2.4.1) und

$$(3.2.4.2)\quad \mu_G' = (p-k).\mu_M-d.\frac{M_2}{T}$$

folgt

$$(3.2.4.3)\quad \mu_G' = (p-k).\mu_M-\frac{d}{T}\cdot(\sigma_M+\mu_M)$$

$$= (p-k-\tfrac{d}{T}).\mu_M-\tfrac{d}{T}.\sigma_M \ .$$

3.2.5 Darstellung der Gewinnstreuung in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität

Die Verteilung der Gewinne bei vollkommener quantitativer Elastizität ergibt sich aus der Verteilung der maximalen Absatzmengen, indem

1. die zufälligen Ereignisse M_1 und M_2 mit dem konstanten Faktor (p-k) multipliziert werden und
2. jeweils der konstante Betrag $\frac{d}{T} \cdot M_2$ subtrahiert wird.[1)]

Da die Standardabweichung des Produktes aus einem konstanten Faktor und einer zufälligen Veränderlichen gleich ist dem Produkt aus dem konstanten Faktor und der Standardabweichung der zufälligen Veränderlichen und da die Standardabweichung durch die Verminderung der zufälligen Veränderlichen um einen konstanten Betrag nicht beeinflußt wird, erhalten wir für die Standardabweichung der Gewinne bei vollkommener quantitativer Anpassungsbereitschaft:

$$(3.2.5.2)\quad \sigma_{G'} = (p-k) \cdot \sigma_M \ .$$

3.2.6 Darstellung der mathematischen Gewinnerwartung in Abhängigkeit von der Gewinnstreuung bei vollkommener quantitativer Elastizität

Aus (3.2.4.3) und (3.2.5.2) folgt

$$(3.2.6.1)\quad \mu_{G'} = \left(p-k-\frac{d}{T}\right) \cdot \mu_M - \frac{d}{T \cdot (p-k)} \cdot \sigma_{G'} \ .$$

---

1) Es handelt sich dabei um die kapazitätsabhängigen Ausgaben d·a, wobei laut Gleichung (3.2.4.1) $a = \frac{M_2}{T}$.

3.2.7 Ableitung der optimalen Elastizitätspolitik für risikoneutrales und risikoaversives Verhalten

In Abbildung 5 werden in einem μ,σ-Präferenzfeld die optimalen Anpassungsverhaltensweisen für Risikoneutralität und Risikoaversion gegenübergestellt. Dabei kennzeichnen $\overline{BC}$ und alle parallel dazu liegenden Geraden unterschiedlichen Elastizitätsniveaus entsprechende $\mu_G(a)$-$\sigma_G(a)$-Kombinationen gleicher Merkmalsstreuung (σ_M = const.).[1] Es können nämlich für unterschiedliche, den Grad der quantitativen Anpassungsbereitschaft berührende Strategien lineare Funktionen abgeleitet werden, die den Zusammenhang zwischen Merkmalsstreuung und Gewinnstreuung bzw. zwischen mathematischer Gewinnerwartung und Gewinnstreuung wiedergeben. Diese Funktionen beginnen jeweils in O bzw. A und füllen den Raum aus zwischen den Randfunktionen $\sigma_M = f(\sigma_G)$ und $\sigma_M = f(\sigma_{G'})$[2] bzw. zwischen den Randfunktionen $\mu_G = f(\sigma_G)$ und $\mu_{G'} = f(\sigma_{G'})$, welche die extremen Strategien der Beibehaltung des Status quo und der vollkommenen quantitativen Anpassungsbereitschaft kennzeichnen. Wegen $M_1 \geq 0$ enden die linearen Funktionen jeweils bei Funktionswerten, denen $M_1 = 0$ zugeordnet ist. $\mu_G(a)$ - $\sigma_G(a)$-Kombinationen gleicher Merkmalsstreuung (σ_M) erhält man, indem man in Abbildung 5 die zu einem bestimmten σ_M gehörenden σ_G- und $\sigma_{G'}$-Werte (unterer Quadrant) in die Funktionen $\mu_G = f(\sigma_G)$ und $\mu_{G'} = f(\sigma_{G'})$ überträgt (oberer Quadrant) und sie miteinander verbindet. Für σ_M = 10 liegen z.B. die zugehörigen $\mu_G(a)$ - $\sigma_G(a)$-Kombinationen auf der Geraden $\overline{BC}$.

---

1) $\mu_G(a)$ und $\sigma_G(a)$ bezeichnen mathematische Erwartung und Standardabweichung des Gewinns in Abhängigkeit von dem die quantitative Anpassungsbereitschaft bestimmenden Ausbringungskoeffizienten.

2) Die in der Abbildung 5 dargestellten Funktionen $\sigma_M = f(\sigma_G)$ und $\sigma_M = f(\sigma_{G'})$ sind die Umkehrfunktionen zu den Funktionen in (3.2.2.3) und (3.2.5.2).

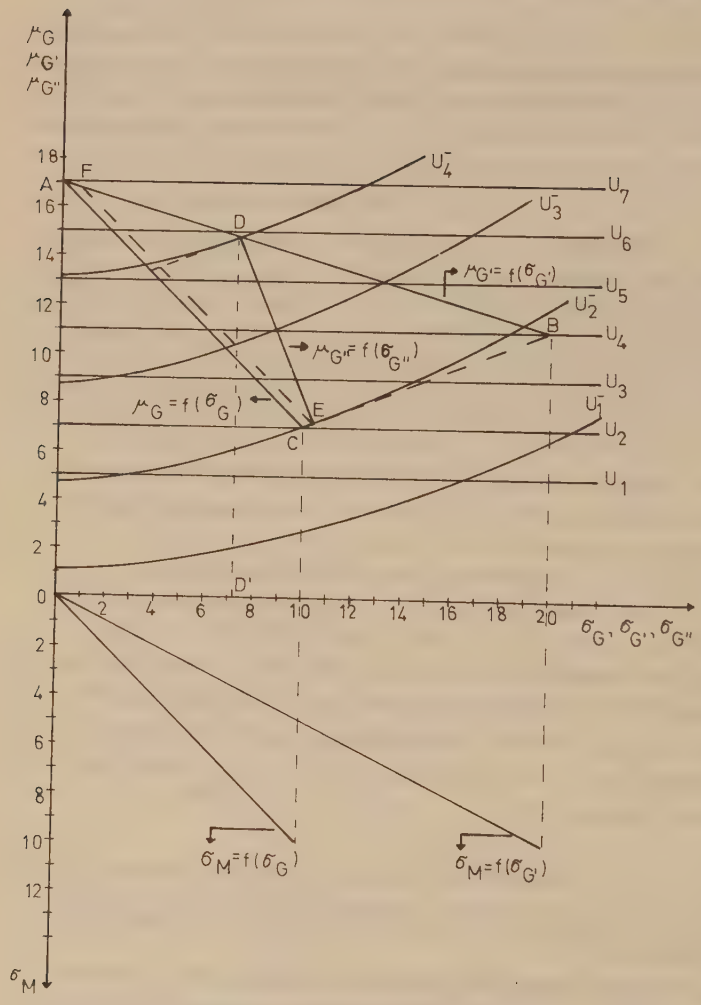

μG
μG'
μG''
A
F
D
B
E
C
D'
U4
U3
U2
U1
U7
U6
U5
U4
U3
U2
U1
μG'= f(σG')
μG''= f(σG'')
μG = f(σG)
σG, σG', σG''
σM = f(σG)
σM = f(σG')
σM

Abb. 5

Bei Risikoneutralität (Indifferenzlinien U_i) ist eine vollkommene Kapazitätsanpassung entlang der Geraden $\overline{AB}$ immer am günstigsten,[1] da unter der Voraussetzung variabler Merkmalsstreuung alle übrigen Elastizitätsgrade geringeren Nutzen erzeugen. Verhält sich der Entscheidungsträger risikoaversiv (Indifferenzlinien U_i^-), dann kann es auf der Funktion $\mu_{G'} = f(\sigma_{G'})$, die der Strategie einer vollkommenen quantitativen Anpassungsbereitschaft zugeordnet ist, einen Punkt geben - in Abbildung 5 ist es der Punkt D -, über den hinaus wegen der negativen Wirkung der durch die Anpassungsbereitschaft verursachten Ausgaben auf die Gewinnstreuung eine vollkommene Anpassung nicht mehr die günstigste Alternative ist. Das Nutzenmaximum wird für $\sigma_{G'} > OD'$ erreicht, wenn die Tangentialpunkte zwischen den Nutzenindifferenzlinien und den Linien gleicher Merkmalsstreuung realisiert werden. D.h. es wird zu jedem σ_M die nutzenoptimale $\mu_G(a)$-$\sigma_G(a)$-Kombination verwirklicht. Der Linienzug $\overline{ADE}$ kennzeichnet die funktionale Abhängigkeit der mathematischen Gewinnerwartung von der Gewinnstreuung, die einer derartigen Verhaltensweise entspricht. Allen Punkten auf der der optimalen Flexibilitätsstrategie bei Risikoaversion zugeordneten Gewinnerwartungsfunktion $\overline{ADE}$ lassen sich eindeutig Kapazitätswerte zuordnen. Der Kurvenzug $\overline{DE}$ verdeutlicht den wachsenden Einfluß der Kapazitätskosten auf die Anpassungsbereitschaft, er verläuft steiler als die Gewinnfunktionen für konstante Kapazitäten, die sich durch $\overline{AC}$ und alle oberhalb davon verlaufende, von $\overline{AB}$ ausgehende Parallelen darstellen lassen. Diese Eigenschaft läßt sich allgemein auch analytisch nachweisen, worauf hier jedoch verzichtet werden soll. Ökonomisch kann sie wie folgt interpretiert werden. Mit steigender Streuung der maximalen Absatzmengen wird der risikoaversive Entscheidungsträger zunächst bestrebt sein, vollkommene quantitative Anpassungsbereitschaft aufrechtzuerhalten. Übersteigt die Merkmalsstreuung einen bestimmten Wert, dann wird der mobilitätshemmende Einfluß der mit der Sicherung der Anpassungsbereitschaft

---

1) Dies gilt nur, wenn unter Aufrechterhaltung der bisherigen Annahmen der Elastizitätsvorteil $w_1 \cdot \Delta M_2 (p-k)$ größer ist als die zusätzlichen Kapazitätskosten $d \cdot \Delta a$.

verbundenen Ausgaben evident. Eine Kompensation kann nur dadurch erreicht werden, daß das Niveau der Anpassungsbereitschaft gesenkt wird. Mit einer risikoaversiven Einstellung ist daher bei steigender Streuung der maximal absetzbaren Mengen sowohl eine Verhaltensweise vereinbar, die auf eine möglichst vollkommene quantitative Anpassungsbereitschaft abzielt, als auch eine solche, die zu einer Reduktion der Anpassungsbereitschaft führt. Die kritische Merkmalsstreuung, bei der ein Wechsel der Strategien sinnvoll wird, ist abhängig von der Höhe der Ausgaben, die im Zusammenhang mit der Realisierung des geplanten Mobilitätsniveaus anfallen, und von dem Grad der Risikoaversion des Entscheidungsträgers. Das gleiche gilt für das Ausmaß der mobilitätseinschränkenden Maßnahmen in Abhängigkeit von der Merkmalsstreuung, sofern die kritische Streuung bereits überschritten ist.

Zur Bestimmung des optimalen Anpassungspfades unter den eingangs gemachten Voraussetzungen wird das Funktional

(3.2.6.2) $\max \Psi(\mu_{G''}(\sigma_M, a), \sigma_{G''}(\sigma_M, a))$ gebildet und nach a

$$a_0 \leq a \leq \frac{\mu_M + \sigma_M}{T}$$

aufgelöst. $\mu_{G''}$ und $\sigma_{G''}$ repräsentieren mathematische Gewinnerwartung und Gewinnstreuung bei über a_0 hinaus variabler quantitativer Anpassungsbereitschaft.[1] Legt man die auf Seite 69 angegebenen Werte zugrunde, dann erhält man unter Verwendung der auf Seite 64 in Fußnote 2 dargelegten Präferenzfunktion:

---

1) Der Terminus "variable quantitative Anpassungsbereitschaft" soll besagen, daß eine Mobilitätsstrategie noch nicht festgelegt ist, wie es z.B. bei den oben diskutierten Verhaltensweisen "Realisierung der vollkommenen quantitativen Anpassungsbereitschaft" bzw. "Aufrechterhaltung des Status quo" der Fall ist.

$$a^{opt} = f(\sigma_M)$$

$$= \begin{cases} \sigma_M + 5 \text{ für } \sigma_M \leq \frac{5}{44} - 1\frac{13}{22} \\ -\frac{15}{29} M + \frac{5}{29}\alpha + 2\frac{17}{29} \text{ für } \sigma_M > \frac{5}{44}\alpha - 1\frac{13}{22} \end{cases}$$ [1]

Die kritische Standardabweichung liegt in unserem Beispiel bei $\sigma_M = \frac{5}{44}\alpha - 1\frac{13}{22}$. Darüber hinaus sinkt die Anpassungsbereitschaft mit steigendem σ_M.

Die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Zusammenhänge zwischen der Erwartungs- und Präferenzstruktur einerseits und den Umsatzvorteilen mobiler Investitionsobjekte im Produktionsbereich andererseits lassen sich analog auf alle Teilbereiche der Unternehmung übertragen, in denen Aktionsergebnisse von als unsicher angesehenen Daten abhängen und in denen die Anpassungsbereitschaft gegenüber künftigen Bedingungen beeinflußt werden kann. Das gilt sowohl für die Lagerplanung, die Beschaffungsplanung, die Absatzplanung, die Personalpolitik als auch für die alle Unternehmensbereiche umfassende Finanz- und Liquiditätsplanung. So wird z.B. eine durch Anwachsen der Merkmalsstreuung charakterisierte Zunahme der Unsicherheit im Absatzsektor die Vorteilhaftigkeit vorsorglich bereitgestellter oder vordisponierter Finanzreserven erhöhen, welche im geeigneten Zeitpunkt der Durchführung von Anpassungsinvestitionen, Umstellungsmaßnahmen und anderer reaktiver Entscheidungen zum Zwecke einer möglichst günstigen Ausnutzung oder Beeinflussung der Marktentwicklung dienen.

3.3 Die Auswirkung von Flexibilitätswiderständen

Bestrebungen zur Erhöhung der Flexibilität der Investitionsplanung werden durch die Höhe der Anpassungsausgaben, das Niveau der durch die Anpassungsbereitschaft einerseits und

1) Auf die mathematische Ableitung des Ergebnisses wird verzichtet.

die Anpassung andererseits induzierten variablen und fixen Kosten und durch einen etwaigen Nutzenentgang (Zinsnachteile, Gewinnverzicht durch Produktionsaufschub u.ä.) beeinflußt. Erst die Berücksichtigung der auf der Ausgabenseite erwachsenden Flexibilitätshemmnisse reduziert den aus der Unsicherheit der Daten resultierenden virtuellen Einnahmevorteil auf den für die Planung erheblichen Nettovorteil. Dabei werden sich zwischen der Höhe der Ausgaben für eine bestimmte Maßnahme und dem Grad der Anpassungsbereitschaft in vielen Fällen, vor allem im Produktionsbereich, eindeutige Beziehungen ableiten lassen.

Eine weitere Gruppe von Einflußgrößen bildet das System der zumindest mittelfristig starren Restriktionen, soweit sie nicht den Absatzmarkt betreffen. Dazu rechnen sowohl die gänzlich unbeeinflußbaren als auch die nur langfristig beeinflußbaren Engpässe, wie z.B. die Ergiebigkeit des Kapitalmarktes, die Lage auf dem Beschaffungsmarkt, der Standort, die Unternehmensorganisation. Das Ausmaß vorteilhafter Anpassungsmaßnahmen kann durch diese Faktoren direkt oder indirekt begrenzt werden.

Die vorangegangenen Ausführungen sollten aufzeigen, welche endogenen und exogenen Einflüsse auf die Vorteilhaftigkeit der unternehmerischen Anpassungsbereitschaft an künftige Umweltzustände einwirken, wenn hinsichtlich eines oder mehrerer Daten mehrwertige Erwartungen bestehen. Es konnten z.T. Bedingungen angegeben werden, unter denen nach dem gewählten Entscheidungskriterium flexible Objekte bzw. Maßnahmen solchen mit geringer Anpassungsfähigkeit vorzuziehen sind. In der Regel werden sich jedoch keine isolierten, objektindividuellen Vorteilhaftigkeitsanalysen durchführen lassen. Es ist Aufgabe des folgenden Kapitels, die Struktur eines flexiblen Planungsansatzes herauszuarbeiten, der die zeitlich-horizontalen und zeitlich-vertikalen Interdependenzen aller Teilentscheidungen simultan erfaßt.

4 Flexible Investitionsplanung auf der Grundlage von Entscheidungsmodellen

4.1 Grundsätzliche Aspekte

Im Rahmen einer flexiblen Investitionsplanung bei Unsicherheit ist nicht die Anpassung an eine geänderte Umweltsituation Gegenstand der Analyse, hingegen wird wegen der unvollkommenen Zukunftsvorstellungen mehr als eine Umweltkonstellation in Betracht zu ziehen sein, für deren Eintritt Glaubwürdigkeitsvorstellungen in Form subjektiver Wahrscheinlichkeiten vorliegen können. Die aus der Eignungsstruktur eines Objektes ableitbaren Elastizitäten bzw. die Mobilitätswirkungen einer Maßnahme können daher nicht in Bezug auf den Eintritt nur einer bestimmten Umweltkonstellation bewertet werden. Jedes Objekt bzw. jede Maßnahme muß mit allen für möglich gehaltenen Umweltkonstellationen in Beziehung gesetzt werden, um die damit verbundene Änderung der Struktur der Zahlungsströme registrieren zu können. Anhand des Vorteilhaftigkeitskriteriums sind aus der Menge der realisierbaren Investitions- und Finanzierungsalternativen jene zu wählen, die diese Funktion unter Beachtung der restriktiven Nebenbedingungen optimieren. Eine flexible Planung auf dieser Grundlage hat folgende Fakten zu berücksichtigen:

- Die Konstellation der Umwelt ändert sich in der Zeit. Die Berücksichtigung der zeitlich horizontalen Komponente der Flexibilität genügt daher nicht. Die zeitliche Abfolge möglicher Umweltkonstellationen wird zur Grundlage des Kalküls.
- Es ist anzunehmen, daß der Informationsstand in Bezug auf einen künftigen Zeitpunkt t_i sich im Zeitablauf verbessert.
- Können subjektive Wahrscheinlichkeiten gebildet werden, dann läßt sich die Verknüpfung zeitlich aufeinanderfolgender Umweltkonstellationen durch eine bedingte Abfolge subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen.

Bei objektiver Unsicherheit ist mit jeder hypothetisch eintretenden Umweltkonstellation lediglich eine bedingte Abfolge ungewichteter Umweltzustände verbunden.

- Die Art der Anpassung des produktiven Apparates an einen erwarteten Umweltzustand ist nicht vorgegeben, sie gehört zu den Problemen, die im Rahmen einer flexiblen Investitionsplanung zu lösen sind. Da ein Investitionsobjekt zu verschiedenen Zeitpunkten während des Planungszeitraums unterschiedlichen, aus den sich ändernden Umweltbedingungen resultierenden Anforderungen gegenübersteht, ist Art und Ausmaß der Anpassung vom Objektzustand im Anpassungszeitpunkt und von den herrschenden Bedingungen im und außerhalb des Unternehmens in dieser und den darauffolgenden Perioden abhängig. Zu den unternehmensinternen Bedingungen, die bei der Konzeption einer flexiblen Investitionsplanung besondere Beachtung verdienen, gehören Anzahl und technische Eigenschaften der vorhandenen Betriebseinrichtungen sowie Umfang und Zweckbindung der dem Unternehmen zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel. Der Erfolg einer Entscheidung, sei es nun die Anschaffung eines Spezial- oder eines Mehrzweckaggregats oder die zusätzliche Aufnahme von Fremdkapital, ist bei gegebener Wahrscheinlichkeitsverteilung der Umweltkonstellationen im wesentlichen abhängig von der zeitlichen Abfolge der hier angesprochenen unternehmensinternen Bedingungen; der Erfolg steht daher nicht von vornherein fest, sondern ist vielmehr das Ergebnis der simultanen Planung.[1] Die späteren Folgeentscheidungen richten sich nach dem, was wirklich - ob erwartet oder nicht erwartet - eingetreten ist und nach dem tatsächlichen Informationsstand des Zeitpunktes der Folgeentscheidung.

---

1) Auf die hier relevanten Interdependenzen wird im folgenden näher eingegangen.

Aus dem unmittelbar vorangegangenen Ausführungen folgt, daß es für ein Investitions- bzw. Finanzierungsvorhaben hinsichtlich des Ausmaßes der mobilen Eigenschaften kein isoliertes Erfolgskriterium gibt. Die Eignung der Maßnahme bzw. des Objektes kann nur anhand der Nutzenfunktion simultan mit den übrigen in Frage kommenden Objekten und deren Finanzierung geprüft werden. Die Struktur der Erwartungen, der jeweilige Informationsstand, die verschiedenen internen und externen Engpässe und ihre zeitliche Entwicklung sowie die künftigen Investitionsmöglichkeiten bilden den Bedingungsrahmen. Die Ermittlung des Optimums erfolgt unter Beachtung der vertikalen und horizontalen zeitlichen Interdependenzen.

Ein Ausgangspunkt für die vielfältigen Interdependenzbeziehungen, die im Investitionsbereich der Unternehmung nachzuweisen sind, ist die Produktion. Für die theoretische Analyse ist es daher zweckmäßig, Produktionsprogramm und Investitionsprogramm simultan zu ermitteln.[1] In verstärktem Maße gilt diese Forderung für die flexible Planung, da es gerade auf die zu planende Ausnutzung und Aktivierung der für den Produktionsprozeß bedeutsamen Mobilitäten ankommt.

Die Grenzen, in denen produziert werden kann, lassen sich ihrem Ursprung nach zwei Gruppen zuordnen: außerbetriebliche und innerbetriebliche Restriktionen. Die außerbetrieblichen Restriktionen beziehen sich auf Absatz-, Beschaffungs-, Arbeits- und Kapitalmärkte und spiegeln deren Situation wider. Hinzukommen können rechtliche, soziale und sittliche Beschränkungen, teils durch die staatliche Ordnung oktroyiert, teils selbst auferlegt, sei es aus eigener Überzeugung oder aus Opportunismus.

---

1) Vgl. z.B. die Ansätze von Jacob, H., Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 487-507 und 551-594; Albach, Horst, Investitionsentscheidungen in Mehrproduktunternehmen, in: Angermann, Adolf (Hrsg.), Betriebsführung und Operations Research, Frankfurt a.M. 1963, S. 24-48.

Die innerbetrieblichen Restriktionen resultieren aus der bestehenden technischen und organisatorischen Struktur des Betriebes. Kapazität und technische Auslegung der unmittelbar an der Produktion beteiligten Aggregate, die Leistungsfähigkeit von Hilfsbetrieben, die vorhandenen Lager und Transportanlagen, das qualitative und quantitative Niveau des Personals u.a. begrenzen den betrieblichen Leistungsspielraum.

Die direkten Beschränkungen der Investitionstätigkeit liegen in der Hauptsache in den Möglichkeiten der Beschaffung und Finanzierung. Die zentrale Stellung nimmt die Aufrechterhaltung des finanziellen Gleichgewichts ein, der in einem mathematischen Modell durch Fixierung entsprechender Nebenbedingungen Rechnung getragen wird. Ähnlich wie die Parameter der Zielfunktion kann auch die Gestalt der Restriktionen ungewiß sein, günstigenfalls liegt eine quantifizierbare Mehrwertigkeit der Erwartungen vor. In diesen Fällen und bei objektiver Unsicherheit muß nach geeigneten Lösungsverfahren gesucht werden.[1] Ein Ansatz mit dem Wert der mathematischen Erwartung würde das Problem nicht lösen, die Unsicherheit würde dadurch scheinbar auf eine sichere Größe reduziert.

Besondere Bedeutung kommt im Rahmen der flexiblen Investitionsplanung den Mobilitätsinterdependenzen zu. Es handelt sich dabei um einen Teilaspekt aus dem umfangreichen Komplex zeitlich vertikaler und horizontaler Interdependenzen im Investitionsbereich. Die durch die individuellen Maßnahmen entwickelten Mobilitäten sind von der sachlichen und zeitlichen Struktur der übrigen Entscheidungen nicht unabhängig. Für die Weiterführung der Analyse erscheint es zweckmäßig, zeitlich horizontale und vertikale Mobilitätsinterdependenzen gesondert zu behandeln.[2]

---

1) Die weiter unten folgende Modellformulierung berücksichtigt explizit die Mehrwertigkeit der finanziellen Restriktionen.

2) Zur Problematik zeitlich horizontaler und zeitlich vertikaler Interdependenzen im Investitionsbereich vgl. insbes. Moxter, Adolf, Offene Probleme ..., a.a.O., bes. S. 3-6.

Der Begriff der horizontalen Mobilitätsinterdependenzen kennzeichnet die gegenseitigen Einflüsse einzelner Objekte bzw. Maßnahmen im Hinblick auf die betriebliche Mobilität in einem bestimmten Zeitpunkt. So wird z.B. bei stufenweiser Fertigung der Mobilitätsspielraum durch die Engpaßstufen bestimmt. Derart können alle in die Investitionsplanung einbezogenen Investitionsbereiche (z.B. Produktion, Beschaffung, innerbetriebliches Transportwesen, Absatz) miteinander verknüpft sein, es können aber auch in dieser Hinsicht unabhängige Sektoren existieren.[1] Es liegt auf der Hand, daß bei der Beurteilung der Flexibilität einer Planung nicht die Mobilität der einzelnen Entscheidung, sondern die Elastizitätsstruktur der vorhandenen Objekte und ihre Veränderung durch die anstehenden Maßnahmen ausschlaggebend ist. Die flexible Planung hat daher wesentlich zur Harmonisierung betrieblicher Mobilitäten beizutragen.[2] Im Investitionsmodell muß diesen Interdependenzen durch die Formulierung von objektbezogenen Restriktionen Rechnung getragen werden. Bei mehrstufiger Fertigung z.B. werden unter Einbeziehung des langfristigen Produktionsplans in das Investitionsmodell etwa durch sogenannte Mengenkontinuitätsbedingungen, die die einzelnen Produktionsstufen miteinander verbinden, derartige, die gesamtbetriebliche Mobilität betreffende Zusammenhänge eingefangen.[3] Ähnliche Überlegungen gelten für den Finanzierungsbereich. Hängt die Höhe der Verschuldung z.B. von dem vorhandenen Eigenkapital ab, so kann durch entsprechende Nebenbedingungen der Einfluß der Finanzierungsart auf die finanzielle Elastizität berücksichtigt werden.[4]

---

1) Klopsch, Wilhelm, a.a.O., S. 24-25, unterscheidet gesamtbetriebliche und teilbetriebliche Elastizität.

2) Im Falle mehrerer, unter sich einflußfreier Strukturen (z.B. bei der Parallelfertigung) kann die Harmonisierung strukturindividuell erfolgen.

3) Vgl. z.B. Jacob, Herbert, Flexibilitätsüberlegungen ..., a.a.O., S. 12; ders., Zum Problem der Unsicherheit ..., a.a.O., S. 163 und 178.

4) Vgl. z.B. Jääskeläinen, Veikko, Optimal Financing and Tax Policy of the Corporation, Helsinki 1966, S. 68-75.

Die zeitlich vertikalen Mobilitätsinterdependenzen kennzeichnen, wie oben bereits angedeutet, die Beeinflussung des Mobilitätsspielraums einer Planungsperiode durch zeitlich vorhergegangene Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen. Die Realisierung eines bestimmten Investitionsprogramms in einer beliebigen Periode determiniert nicht nur die Investitionen dieser Periode, sie wirkt sich auch auf die Investitionsplanung künftiger Perioden aus. Der Grad der Beeinflussung sinkt in der Regel mit zunehmendem zeitlichen Abstand von der Realisierungsperiode.

Am deutlichsten sind diese Zusammenhänge bei den objektbezogenen Elastizitäten. Die Mobilitätseigenschaften einer Investition sind während der gesamten Nutzungsdauer eine der Komponenten der horizontalen Mobilitätsinterdependenzen und daher auch Komponenten künftiger flexibler Investitionspläne. Prinzipiell die gleichen Zusammenhänge wie bei den vollkommenen und unvollkommenen Objektentscheidungen im Leistungsbereich sind auf der Finanzierungsseite für die dispositiven Veränderungsmöglichkeiten des Finanzierungsspielraums maßgebend.[1)]

Ein dynamischer Modellansatz zur Lösung flexibler Planungsaufgaben im Investitionsbereich muß die Formalisierung und simultane Verarbeitung der bedeutsamsten Interdependenzbeziehungen gestatten. Die Aufdeckung theoretischer Lösungsmöglichkeiten zur flexiblen Investitionsplanung dient in erster Linie der Gewinnung neuer Einsichten in die Problemzusammenhänge. Sie darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß die praktische Realisierung bereits an den Schwierigkeiten, die relevanten Daten zu beschaffen, scheitern kann. Nun ist die Ableitung operationaler Planungsmodelle nicht das Ziel dieser Arbeit - sie wäre Gegenstand einer empirischen Studie -,

---

1) Vgl. auch Kapitel 2.1.2.2 .

es wird sich jedoch als notwendig erweisen, auf praktische Schwierigkeiten und die Möglichkeit ihrer Überwindung hinzuweisen.

4.2 Kritische Analyse zweier Literaturbeiträge zur flexiblen Investitionsplanung

In diesem Abschnitt sollen zwei Modellvorschläge zur Investitionsplanung bei Unsicherheit auf das Maß ihrer Übereinstimmung mit dem Prinzip der flexiblen Planung, wie es zu Beginn dieser Arbeit formuliert wurde, untersucht werden. Sie stellen, soweit wir die Literatur übersehen können, die einzigen Versuche dar, quantitative Ansätze zur flexiblen Investitionsplanung vorzulegen.

4.2.1 Das Modell von Jacob[1)]

Das von Jacob vorgelegte Entscheidungsmodell dient der simultanen Bestimmung eines mehrperiodigen Investitions- und Produktionsprogramms, wobei die maximal absetzbaren Mengen in einer Periode zufällige Veränderliche sind, denen subjektive Wahrscheinlichkeiten beigemessen werden können. Jacob geht davon aus, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilungen in den einzelnen Perioden unabhängig sind von der in den Vorperioden realisierten Marktsituation. Maximiert wird die mathematische Erwartung der bis zum Planungshorizont kumulierten Periodenüberschüsse. Der mathematische Erwartungswert eines Periodenüberschusses setzt sich zusammen aus:

a) dem mathematischen Erwartungswert der durch die geplanten Produktionsentscheidungen induzierten Deckungsbeiträge, wobei angenommen wird, daß diese Entscheidungen

---

1) Vgl. Jacob, Herbert, Flexibilitätsüberlegungen ..., a.a.O.; ders., Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 153-187.

in Kenntnis der Absatzsituation getroffen werden können;

b) abzüglich der fixen Kosten für im Betrieb befindliche Anlagen;

c) abzüglich der durch die geplanten Investitionsentscheidungen verursachten Anschaffungsausgaben, wobei unterstellt wird, daß die Investitionsentscheidungen vor Kenntnis der in der Planperiode eintretenden Absatzsituation zu fällen sind;

d) zuzüglich der aus der geplanten Liquidation von Anlagen resultierenden Liquidationserlöse;

e) zuzüglich des Ertrages der Finanzinvestitionen.

Es sind eine Reihe von Restriktionen zu beachten, von denen besonders die Finanzierungsbedingung interessiert. Durch sie wird gefordert, daß die Anschaffungskosten für Investitionsobjekte zu Beginn einer beliebigen Periode zuzüglich der in dieser Periode nicht investierten Mittel gleich sein muß den neu verfügbaren Mitteln zu Beginn der Periode, vermehrt um die mathematische Erwartung der möglichen Einzahlungsüberschüsse der vorangegangenen Periode, um etwaige Liquidationserlöse zu Anfang der Periode und um die aus den Finanzinvestitionen der Vorperiode wieder verfügbaren Mittel (einschließlich Zinsen).

Der Ansatz von Jacob gestattet zwar eine periodenindividuelle Bewertung der Investitionsobjekte in Abhängigkeit von ihrem Elastizitätsgrad und von der Streubreite der für möglich gehaltenen Absatzmarktdaten,[1] die Struktur der Planung ist jedoch hinsichtlich der Investitionsentscheidungen nicht flexibel, denn bei der Einbeziehung künftiger Investitionsentscheidungen wird die zwischenzeitliche Verbesserung des Informations-

---

1) Jacob bringt im Anschluß an die Modellformulierung eine aufschlußreiche Vergleichsrechnung für unterschiedliche Elastizitätsniveaus. Vgl. Jacob, H., Flexibilitätsüberlegungen..., a.a.O., S. 25-33.

standes nicht beachtet. Durch die Prämisse, daß die subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung der Marktdaten einer Periode unabhängig von den in den Vorperioden realisierten Marktsituationen ist, wird die Antizipation einer zeitabhängigen Verbesserung des Informationsniveaus bezüglich künftiger Perioden von vornherein ausgeschlossen. In der Regel dürfte aber eine fortschreitende Verengung der Erwartungsstruktur, wie sie durch die Abfolge bedingter subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen gekennzeichnet ist, der Realität eher entsprechen. Selbst unter Aufrechterhaltung der vorgenannten Prämisse kann eine Verbesserung des Informationsstandes über die Zeit bereits im Planungsursprung antizipiert werden. Diese Verbesserung betrifft das künftige Wissen um die in der Zwischenzeit realisierte Zustandsabfolge der Umwelt. Im Jacobschen Modell werden dagegen die Investitionsentscheidungen für künftige Perioden unabhängig von der tatsächlichen Entwicklung des Absatzmarktes in den Vorperioden geplant. Dieser Informationsmangel führt zu stochastischen Finanzierungsbedingungen, die Jacob durch Bildung des Erwartungswertes auf eine quasi-deterministische Form bringt. Die optimale Lösung liefert daher auch nur einen einzigen Investitionsplan. Die Planung wäre aber nur dann flexibel, wenn für unterschiedliche zeitliche Abfolgen von Marktsituationen jeweils optimale Alternativpläne abgeleitet werden könnten. Damit ist die Einhaltung des finanziellen Gleichgewichts nicht für alle in Betracht gezogenen Umweltsituationen gewährleistet. Über die Konsequenzen, die sich ergeben, falls in einer konkreten Umweltsituation das finanzielle Gleichgewicht gestört ist, macht das Modell keine Aussage.

4.2.2 Investitionsplanung auf der Grundlage von Entscheidungsbäumen[1)]

Das Verfahren zur Vorbereitung von Entscheidungen mit Hilfe von Entscheidungsbäumen wurde von Magee entwickelt[2)] und

1) Vgl. Magee, John F., How to Use Decision Trees in Capital Investment, in: Havard Business Review, vol.42 (1964), No. 5, S. 79-96; Hespos, Richard F. and Straßmann, Paul A., Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions, in:Management Science,vol. 11 (1965), Serie B, S. 244-259.
2) Magee, John F., Decision Trees for Decision Making, in: Havard Business Review, vol. 42 (1964), No. 4, S. 126-138.

später besonders auf Probleme der Planung von Investitionen bei unsicheren Erwartungen ausgedehnt.[1] Ziel dieser Methode, angewendet auf die Investitionsplanung, ist es, eine optimale zeitliche Abfolge von Investitionsentscheidungen zu erzeugen, wobei die optimalen Teilentscheidungen auf den einzelnen Stufen von dem auf der Vorstufe eingetretenen Umweltzustand abhängig sind. Um dieses Ziel zu erreichen, wird zunächst ein Entscheidungsbaum entworfen (Vgl. das Beispiel in Abb. 6).

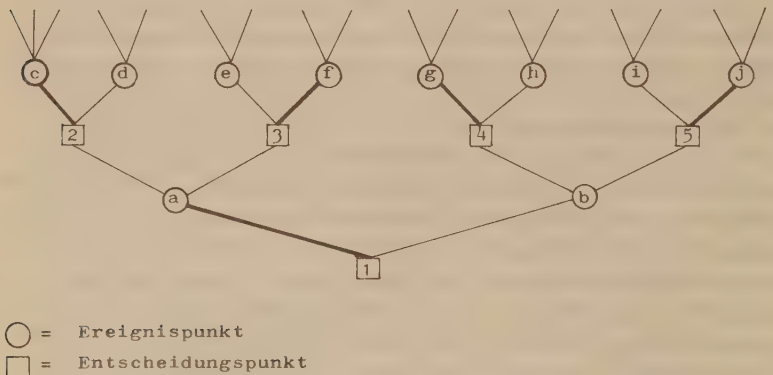


Abb. 6

Der Entscheidungsbaum beginnt mit einem Entscheidungspunkt (Entscheidungspunkt 1 in Abb. 6). Die von diesem Punkt ausgehenden Kanten repräsentieren die Investitionsstrategien, die in der ersten Periode durchgeführt werden können, ohne daß bekannt ist, welches Umweltereignis in dieser Periode eintreten wird. Auf den einzelnen Stufen liegen lediglich subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen über mögliche Ereignisse[2] vor, die so-

1) Vgl. Fußnote 1 auf S. 87.

2) Unter Ereignissen sind hier zufällige Ereignisse zu verstehen, wie z.B. eine von einem Zufallsmechanismus produzierte Zahl oder im ökonomischen Bereich eine für möglich gehaltene Nachfragekonstellation.

wohl von dem zuvor realisierten Umweltzustand als auch von der auf der Vorstufe durchgeführten Entscheidung abhängen können. Im Anschluß an die Verwirklichung einer Strategie sei es dem Entscheidenden möglich, den eingetretenen Umweltzustand zur Kenntnis zu nehmen, um auf der Grundlage dieser Information aus den nun zur Verfügung stehenden Investitionsstrategien eine auszuwählen, die auf der folgenden Stufe durchgeführt werden soll. Dieses Wechselspiel wiederholt sich bis zum Planungshorizont unter Aufrechterhaltung der Reihenfolge: Entscheidung-Ereignis-Entscheidung, wobei der letzte noch berücksichtigte Knotenpunkt ein Ereignispunkt ist.[1)] Die Aufzeichnung aller möglichen zeitlichen Abfolgen von Entscheidungen und Ereignissen liefert den relevanten Entscheidungsbaum. Jeder isolierte Zweig des Baumes wird mit dem Nettogegenwartswert der zugehörigen Zahlungsströme bewertet. Für jeden Subgraphen der letzten Stufe wird dann ein Erwartungswert ermittelt, indem die bereits errechneten Nettogegenwartswerte mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten dieses Teilbaums gewichtet werden. Man schreitet nun eine Stufe zurück und wählt für jeden Entscheidungspunkt dieser Stufe jeweils jene Entscheidung aus, deren berechneter Erwartungswert am höchsten ist. Im Beispiel der Abb. 6 mag dies für den Entscheidungspunkt 2 die Entscheidung c, für den Entscheidungspunkt 3 die Entscheidung f, für den Entscheidungspunkt 4 die Entscheidung g und für den Entscheidungspunkt 5 die Entscheidung j sein. Die Analyse wird auf der vorgelagerten Stufe fortgesetzt. Ausgehend von den bereits bekannten suboptimalen Entscheidungen der Folgeperioden wird für jeden Ereignispunkt dieser Stufe der Erwartungswert ermittelt. Auf der Vorstufe wird von den zu einem Subgraphen gehörenden Entscheidungen erneut jene mit dem höchsten Erwartungswert (in Abb. 6 z.B. a) ausgewählt und für die weiteren Berechnungen

---

1) Die von einem Ereignispunkt ausgehenden Kanten charakterisieren die in der Folgeperiode für möglich gehaltenen Umweltzustände.

gespeichert. Diese Prozedur wird in analoger Form, zurückschreitend bis zur ersten Stufe, fortgeführt. Die optimalen zeitlichen Abfolgen der Investitionsentscheidungen lassen sich nun aus dem Entscheidungsbaum leicht ablesen, wenn man die zu den einzelnen Entscheidungspunkten gehörenden suboptimalen Entscheidungen entsprechend kennzeichnet. Im Beispiel der Abb. 6 sind es, je nachdem, ob die Entscheidungspunkte 2 oder 3 realisiert werden, die Abfolgen $\{a, c\}$ oder $\{a, f\}$.

Dem Prinzip der flexiblen Planung wird bei der Vorbereitung von Investitionsentscheidungen auf der Grundlage von Entscheidungsbäumen in vollem Umfang entsprochen. Durch die Einbeziehung aller für möglich erachteten Zustands- und Entscheidungsabfolgen ist gewährleistet, daß die Beurteilung künftiger Investitionsentscheidungen einschließlich ihrer Rückwirkungen auf die Wahl gegenwärtiger Entscheidungen die erwartete Veränderung des Informationsstandes zum Ausgangspunkt nimmt. Für die suboptimalen Entscheidungen der Folgeperioden ist nur noch der Teil des Erwartungsspektrums maßgebend, der durch die zwischenzeitliche Entwicklung der Umwelt eliminiert worden ist. Der vorgetragene Ansatz hat jedoch einen gewichtigen Nachteil. Zur Festlegung eines optimalen Investitionsplans sind auf jeder Stufe alle verfügbaren Investitionsstrategien, d.h. alle realisierbaren zeitlich-horizontalen und zeitlich-vertikalen Kombinationen von Einzelentscheidungen zu bewerten. Damit scheidet die Anwendung dieses Enumerationsverfahrens auf umfangreichere Probleme aus.

Hespos und Strassmann[1] versuchen, durch eine Kombination des von Magee entwickelten Verfahrens und den Methoden der Ri-

1) Vgl. Hespos, Richard F. und Straßmann, Paul A., a.a.O.

sikoanalyse[1] auf einfacherem Wege aussagefähigere Ergebnisse für die Beurteilung von Investitionsvorhaben zu liefern. Zu diesem Zweck werden die Ereignispunkte des Entscheidungsbaumes und die von ihnen ausgehenden, zufällige Ereignisse repräsentierenden Kanten durch kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen ersetzt. Für jede Planperiode und jede Zufallskomponente, die auf das monetäre Ergebnis der Investitionsentscheidungen Einfluß hat und somit Bestandteil eines ökonomisch relevanten Ereignisses ist, ist jeweils eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilung abzuschätzen, sofern diese Zufallskomponenten unabhängige zufällige Veränderliche sind.[2] Es kann sich dabei z.B. um die Höhe der Nachfrage, Absatzpreise, Produktionsfaktorkosten o.ä. handeln. Mit Hilfe der Simulationstechnik wird nun für jede zulässige und nicht von vornherein inferiore zeitliche Abfolge von Investitionsentscheidungen eine subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung ihrer monetären Ergebnisse generiert. Im Anschluß daran ist es nach Hespos und Straßmann Aufgabe des Entscheidungsträgers, aufgrund einer detaillierten Risikoanalyse jenes Bündel von Alternativplänen auszuwählen, das ihm entsprechend seiner Risikoneigung als optimal erscheint.
Das von Hespos und Straßmann vorgeschlagene Vorgehen hat, sofern es gelingt, bezüglich der relevanten Zufallskomponenten kontinuierliche subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen abzuschätzen, gegenüber dem Verfahren von Magee zwei entscheidende Vorteile. Erstens gestattet die Simulationstechnik, aussagefähige Wahrscheinlichkeitsverteil-

---

1) Zur Risikoanalyse bei Investitionsentscheidungen vgl. vor allem Hertz, David B., Risk Analysis in Capital Investment, in: Havard Business Review, vol. 42 (1964), No. 1, S. 95-106; Hillier, Fredrick S., The Derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Investments, in: Management Science, vol. 9 (1963), S. 443-457.

2) Andernfalls müssen bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegeben werden.

lungen der monetären Ergebnisse der einzelnen Investitionsstrategien zu erzeugen, ohne daß es notwendig wäre, alle für möglich erachteten Kombinationen der Zufallskomponenten in einer Periode zu betrachten. Zweitens steht dem Entscheidungsträger für die Beurteilung und Planung unterschiedlicher Investitionsstrategien nicht nur der Mittelwert, sondern die gesamte Wahrscheinlichkeitsverteilung des monetären Ergebnisses jeder einzelnen Strategie zur Verfügung. Allerdings dürfen die erwähnten Vorteile nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Anwendbarkeit des Verfahrens der "stochastischen Entscheidungsbäume", wie es von Hespos und Straßmann genannt wird, enge Grenzen gesetzt sind. Es ist festzuhalten, daß für alle zulässigen und nicht von vornherein inferioren Investitionsstrategien eine ausreichende Anzahl von Simulationen durchgeführt werden muß und daß darüber hinaus alle durchgerechneten Strategien in eine Risikoanalyse einzubeziehen sind. Das hat, wie Hespos und Straßmann selbst einräumen, zur Folge, daß mit steigender Zahl der Investitionsalternativen und der relevanten Zufallskomponenten, wenn nicht gerade die Rechenkapazität eines Computers, so doch die Arbeitskapazität des Entscheidungsträgers, der eine derartig umfangreiche Risikoanalyse zu bewerkstelligen hat, rasch überschritten wird. Dessen ungeachtet stellt die von Hespos und Straßmann vorgeschlagene Modifikation des Verfahrens von Magee einen interessanten und bedeutsamen Beitrag zur flexiblen Planung von Investitionen dar.

4.3 Ein Modellansatz zur flexiblen Investitionsplanung

4.3.1 Vorbemerkungen

Bei der Konstruktion eines flexiblen Investitionsmodells geht es uns in erster Linie darum, seine Struktur deutlich herauszuarbeiten. Eine Reihe von Problemen, die bisher erörtert wurden, werden daher im Modell keinen quantitativen

Niederschlag finden. Soweit durchführbar, werden wir auf Modifikationsmöglichkeiten hinweisen.

Wie bereits angedeutet, wird die dem Modell zugrundeliegende Erwartungsstruktur durch einen allgemeinen stochastischen Prozeß beschrieben.[1] Die optimale Auswahl der Investitions- und Finanzierungsentscheidungen erfolgt mit Hilfe der dynamischen Programmierung. Dieses Vorgehen stimmt grundsätzlich mit dem von Hart vorgelegten dynamischen Anpassungsmodell überein.[2] Wie bei Hart wird der elastische Plan - angefangen bei der letzten Periode in der Zukunft, die noch bei der Planung berücksichtigt werden kann - Periode für Periode nach rückwärts in Richtung Gegenwart entwickelt. Für die einzelnen Stufen sind auf der Grundlage des jeweiligen Informationsstandes die Entscheidungen einzuplanen, die unter Beachtung der bereits ermittelten suboptimalen Entscheidungen der folgenden Stufen die hinsichtlich dieses Teilplanungszeitraums definierte Zielfunktion maximieren.[3] Wir werden uns im folgenden der Darstellung der wesentlichen Prämissen des Modells zuwenden.

Dem Modell liegt eine monovariable, monetäre Zielsetzung zugrunde. Vereinfachend wird von Risikoneutralität des Entscheidungsträgers ausgegangen. Dabei wird die lineare Nutzenfunktion aus den monetären Ausgangsgrößen durch Wahl eines Nullpunktes und lineare Transformation gewonnen. Im folgenden wird angenommen, daß die monetären Werte mit den dazugehörigen kardinalen Nutzenwerten übereinstimmt. Der Nut-

---

1) Zur Darstellung der Erwartungsstruktur mit Hilfe von Markowketten vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959, S. 151-152.

2) Hart, Albert Gailord, Anticipations, ..., a.a.O., S. 51 ff.

3) Vgl. auch Frese, Erich, Prognose und Anpassung, in: ZfB, 38. Jg. (1968), S. 31-44, hier S. 39-40.

zen wird demnach in Geldgrößen gemessen. Der Maximierung des Erwartungsnutzens nach Bernoulli entspricht nach dieser Vereinfachung die Maximierung der Erwartung der monetären Größen.

Des weiteren erfolgt die Steuerung des Entscheidungsprozesses einzentrig. Der Vorgang der Zielbildung wird nicht untersucht. Es stellt sich nun die Frage, welcher Ausdruck maximiert werden soll: das monetäre Einkommen während einer bestimmten Periode oder das Geldvermögen zu einem bestimmten Zeitpunkt? Das vorgelegte flexible Planungsmodell basiert auf der Zielsetzung der Maximierung der mathematischen Erwartung des Vermögenswertes der Unternehmung am Ende des Planungszeitraums.

Der Lösungsansatz ist als Totalmodell konzipiert, es werden in den einzelnen Perioden alle Wiederanalgemöglichkeiten berücksichtigt. Damit erübrigt sich eine Diskontierung der während des Planungszeitraums anfallenden Zahlungsströme.[1)]

Der Planungszeitraum enthält eine begrenzte Anzahl von Planperioden. Unter der postulierten Zielsetzung wird es erforderlich, alternative Vermögenskonstellationen am Ende des Planungszeitraums zu bewerten. Im Modell wird dieses Problem dadurch umgangen, daß unterstellt wird, das Unternehmen werde am Ende des Planungszeitraums liquidiert, so daß in diesem Zeitpunkt ausschließlich Geldvermögen vorhanden ist. Wir werden uns im Rahmen der Prämissenkritik mit Lösungsvorschlägen zu diesem Komplex befassen.

Um die Darstellung des Lösungsverfahrens nicht zu sehr zu komplizieren, werden mit Ausnahme der Situation am Absatz-

---

1) Vgl. die Modelle von Jacob und Hax. Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., a.a.O.; Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung ..., a.a.O., S. 435-439.

markt in allen übrigen Bereichen einwertige Erwartungen hinsichtlich der relevanten Parameter vorausgesetzt. Dabei wird unterstellt, daß die Erwartungen über die Zustände der Umwelt in einer Periode abhängen von den in den Vorperioden realisierten Zuständen.

Liefert die Erfahrung keine Anhaltspunkte für eine wahrscheinlichkeitstheoretische Beziehung zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen, dann kann die Erwartungsstruktur ebenfalls als stochastischer Prozeß, allerdings mit in der einzelnen Periode gleichen, über die Zeit eventuell variierenden subjektiven Übergangswahrscheinlichkeiten dargestellt werden.

Ein Teil der Zahlungsströme ist objektindividuell nicht zurechenbar.[1] Der Lösungsansatz strebt daher die simultane Ermittlung von Investitions- und Produktionsprogramm an.[2] Die vorgesehene Programmkopplung erlaubt über die Ausbringungskoeffizienten der in den Planungskalkül einbezogenen Aggregate eine explizite Berücksichtigung der produktionstechnischen Mobilitäten. Darüber hinaus erfaßt das Modell investive Anpassungsmaßnahmen, die sich in Zustandsänderungen der geplanten oder vorhandenen Investitionsobjekte äußern. Unter Zustand eines Investitionsobjekts wird die gedankliche Zusammenfassung seiner produktionstechnischen Eigenschaften verstanden, wie sie etwa durch den Vektor der Ausbringungskoeffizienten bezüglich der einzelnen Produkte und durch die in Zeiteinheiten ge-

---

1) Vgl. z.B. Moxter, Adolf, Offene Probleme ..., a.a.O., S. 2-4; Adam, Dietrich, Das Interdependenzproblem in der Investitionsrechnung und die Möglichkeit einer Zurechnung von Erträgen auf einzelne Investitionsobjekte, in: Der Betrieb, Jg. 1966, S. 989-993; Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., a.a.O., S. 505-506; Hax, Herbert, Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, in: ZfbF, N.F., 19. Jg. (1967), S. 749-761, hier S. 759.

2) Der Ansatz entspricht in dieser Hinsicht prinzipiell den Modellen von Jacob. Vgl. Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., a.a.O.; ders., Flexibilitätsüberlegungen ..., a.a.O.; ders., Zum Problem der Unsicherheit ..., a.a.O..

messene Fertigungskapazität formal dargestellt werden kann.[1] Zustandsänderungen von Investitionsobjekten sind daher die durch investive Maßnahmen bewirkten Veränderungen der technischen Eigenschaften von Anlagen.[2] Als Beispiele seien genannt: Anschaffung und Einbau neuer Bauelemente bei nach dem Baukastenprinzip konstruierten Werkzeugmaschinen, bauliche Erweiterungen von Werk- und Lagerhallen, Ausbau eines Kraftwerks zum Zwecke der Erhöhung der betriebsinternen Energieversorgung, Erhöhung des Koksausstoßes einer Kokerei durch Anbau weiterer Ofenbatterien. Derartige Zustandsänderungen werden nur dann als Investitionsalternativen in das Planungsmodell einbezogen, wenn die damit im Zusammenhang stehenden Auszahlungen gewisse, vorab festzulegende Toleranzbereiche überschreiten.[3]

Die durch die Zustandsänderung induzierten objektindividuellen Ausgaben betreffen den Anpassungsvorgang und die Aufrechterhaltung der dadurch erreichten besonderen Aufgabeneignung. Diese Ausgabenströme können zeitabhängige, mengenabhängige sowie zeit- und mengenunabhängige Bestandteile enthalten. Der zeitabhängige Ausgabenbestandteil des Anpassungsvorgangs repräsentiert den Einfluß der Anpassungsgeschwindigkeit. Im Modell können alternative Anpassungsgeschwindigkeiten durch unterschiedliche diskrete Zustandsabfolgen des Investitionsobjekts in der Zeit dargestellt werden. Die mengenabhängige Komponente betrifft Ausgaben-

---

1) Das Eignungspotential der nicht unmittelbar am Fertigungsprozeß beteiligten Investitionsobjekte (z.B. Werkhallen, Transporteinrichtungen) muß, soweit dies für die Investitionsplanung von Bedeutung ist, ebenfalls durch geeignete technische Koeffizienten umrissen werden.

2) Erstrecken sich Investitions- oder Umstellungsmaßnahmen über mehr als eine Planperiode, so sind Zwischenzustände zu definieren, wobei die Ausbringungskoeffizienten und Fertigungskapazitäten, die diesen Zwischenzuständen zuzuordnen sind, gegebenenfalls mit 0 angesetzt werden müssen.

3) Die Toleranzbereiche sind Folge der fehlenden Genauigkeit jeder langfristigen Planung, die ihren Charakter als Umrißplanung ausmacht.

teile, die durch das geplante Kapazitätsniveau beeinflußt werden. Die zeit- und mengenunabhängige Komponente reduziert die Betrachtung auf einmalige Ausgaben, die, unbeeinflußt durch die geplante Kapazität und die Anpassungsgeschwindigkeit, ausschließlich mit der vorgesehenen Aufgabenstellung der Anlage variieren. Eine simultane Behandlung der mit geplanten Umstellungsmaßnahmen verbundenen Auswirkungen ist im Modell dadurch gewährleistet, daß erstens den berücksichtigten Objektzuständen Produktionskostensätze, periodenfixe Ausgaben, Ausbringungskoeffizienten und in Zeiteinheiten gemessene Fertigungskapazitäten und zweitens den definierten Zustandsänderungen Anpassungsausgaben zugeordnet werden. Entscheidungen, die eine bestimmte Änderung des technischen Zustands einer Anlage zum Inhalt haben, sind durch Aktionsvariable im Modell vertreten. Unvollständige Objektentscheidungen[1)] werden durch Aktionsvariable charakterisiert, die sich auf die Realisierung von Zwischenzuständen[2)] beziehen.

Die Entscheidungen, die auf Grund der Programmergebnisse gefällt werden, sind nur für die erste, revisionsfreie Periode bindend. Falls durch unvorhergesehene Informationen sich die aus dem optimalen Ausgangsprogramm abgeleiteten Alternativpläne als überholt erweisen, werden mit Hilfe von Planrevisionen die Entscheidungsvorschläge für zukünftige Perioden dem neuen Informationsstand angepaßt.

---

1) Zur Definition unvollständiger Objektentscheidungen vgl. S. 10 dieser Arbeit.

2) Vgl. Fußnote 2 auf S. 96 dieser Arbeit.

4.3.2 Modellformulierung[1)]

Das folgende Optimierungsmodell stellt eine Anwendung der dynamischen Programmierung[2)] auf Probleme der Investitionsplanung bei unvollkommener Voraussicht dar. Die durch einen allgemeinen stochastischen Prozeß charakterisierte Erwartungsstruktur hinsichtlich der Entwicklung der Absatzmarktdaten kann mit Hilfe eines Baumgraphen[3)] beschrieben werden (vgl. Abb. 7).

---

1) Ein Verzeichnis der verwendeten Symbole findet sich am Ende dieser Arbeit.

2) Aus der umfangreichen Literatur zur dynamischen Programmierung seien vor allem genannt Bellman, Richard E., Some Applications of the Theory of Dynamic Programming - A Review, in: Operations Research, vol. 2 (1954), S. 275-288; ders., Dynamic Programming, Princeton 1957; ders. and Stuart E. Dreyfus, Applied Dynamic Programming, Princeton 1962; Hadley, George, Nonlinear and Dynamic Programming, Reading (Mass.)-Palo Alto-London 1964, Kap. 10 und 11; Howard, Ronald, Dynamic Programming, in: Management Science, vol. 12 (1966), S. 317-348; Ferschl, F., Grundzüge der Dynamic Programming, in: Unternehmensforschung, Bd. 3 (1959), S. 70-80; Wentzel, J.S., Elemente der dynamischen Programmierung, München-Wien 1966 (Übersetzung aus dem Russischen). Zur Anwendung der dynamischen Programmierung bei der Planung von Investitionen unter Sicherheit vgl. Seelbach, H., Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, Würzburg-Wien 1967, S. 55-95; Wagner, Helmut, Simultane Planung von Investition, Beschäftigung und Finanzierung mit Hilfe der dynamischen Programmierung, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 709-728.

3) Zur Definition des Baumgraphen vgl. Ore, Oystein, Theory of Graphs. American Mathematical Society Colloquium Publications, vol. 38, Providence 1962, S. 58; Busacker, Robert G. and Thomas L. Saaty, Endliche Graphen und Netzwerke: Eine Einführung mit Anwendungen, München-Wien 1968, S. 30 (Titel der englischen Fassung: Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications, New York-St.Louis-San Francisco-Toronto-London-Sidney 1965).

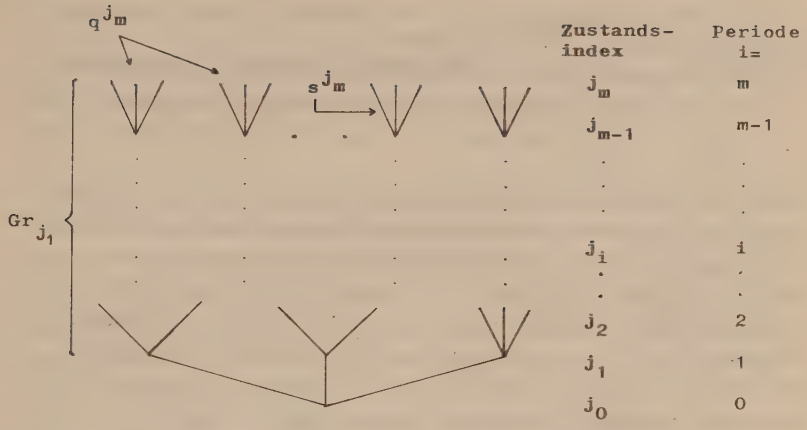


Abb. 7

Die Knotenpunkte q^{j_i} kennzeichnen die Zustände des Prozesses, während die Prozeßübergänge durch die Kanten s^{j_i} des Baumes wiedergegeben werden. Der Zustandsindex j_i indiziert eine bestimmte Absatzmarktkonstellation in der Periode i.[1] Dabei wird unterstellt, daß diese Absatzmarktkonstellation innerhalb einer Planperiode unverändert bleibt. Das bedeutet z.B., daß die durch einen beliebigen Index j_2 gekennzeichnete Marktsituation, falls sie überhaupt eintritt, für die gesamte zweite Planperiode verbindlich ist. Der Subgraph Gr_{j_i} beginnt mit dem Knotenpunkt q^{j_i} und erstreckt sich über alle folgenden Stufen. Die zum Graphen Gr_{j_i} gehörenden Knotenpunkt-, Kanten- und Indexmengen werden mit Q_{j_i}, S_{j_i} und I_{j_i} bezeichnet. Für die Indices $j_i \in I_{j_{i-1}}$ gelten die Beziehungen $q^{j_i} \in Q_{j_{i-1}}$ und

---

1) Absatzmarktkonstellationen mit unterschiedlicher Vorgeschichte werden entsprechend ihrer Lage im Graphen durch unterschiedliche Zustandsindices gekennzeichnet.

$s^{j_i} \in S_{j_{i-1}}$. Die Indexmenge $I_{j_{i-1}}$ umfaßt die Indices der zum Graphen $Gr_{j_{i-1}}$ gehörenden Absatzmarktzustände. Den Knotenpunkten des Graphen sind Übergangswahrscheinlichkeiten $w^{j_i} = w(q^{j_i} \mid q^{j_{i-1}})$ zugeordnet.

Zum Unterschied zu dem von Magee entworfenen Entscheidungsbaum[1] entsprechen die Knotenpunkte des in Abbildung 7 wiedergegebenen Graphen möglichen Zuständen (Absatzmarktkonstellationen) der Umwelt. Es handelt sich daher um einen "Zustandsbaum". Einer Abfolge der durch Kanten verbundenen Knotenpunkte dieses Baumes entspricht eine für möglich erachtete zeitliche Abfolge von Umweltzuständen. Im Entscheidungsbaum von Magee haben die Knotenpunkte eine andere Funktion. Sie repräsentieren entweder den Zeitpunkt unmittelbar vor der Beobachtung eines Umweltzustandes (Ereignispunkt) oder den Zeitpunkt unmittelbar vor der Wahl einer Entscheidung (Entscheidungspunkt). Entscheidungspunkte und Ereignispunkte eines Kantenzuges bilden eine alternierende Folge. Die von einem Entscheidungspunkt ausgehenden Kanten symbolisieren die möglichen Entscheidungen, die von einem Ereignispunkt ausgehenden Kanten die für möglich gehaltenen Umweltzustände. Einer Abfolge von Kanten im Entscheidungsbaum von Magee entspricht eine denkbare zeitliche Abfolge von Entscheidungen und Umweltzuständen in der Reihenfolge: Entscheidung - beobachteter Umweltzustand - Entscheidung etc.

Die Methode des dynamischen Programmierens zerlegt den Entscheidungsprozeß in aufeinanderfolgende Stufen. Die Lösung erfolgt durch rekursive Verknüpfung der Entscheidungen der nachgelagerten mit den Entscheidungen auf den vorgelagerten Stufen. Ausgangspunkt ist jeweils die letzte Stufe des

---

1) Vgl. oben S. 88 ff.

Systems. Der Entscheidungsprozeß ist dann optimal gesteuert, wenn - ausgehend von einem beliebigen Anfangszustand einer Periode - die Entscheidungen auf allen folgenden Stufen optimal sind, gleichgültig, welche Entscheidungen auf den vorgelagerten Stufen getroffen wurden.[1)]

In dem vorliegenden Modell beginnen wir zunächst mit der Bestimmung eines optimalen Investitions- und Produktionsprogramms für jede mögliche, durch den Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ gekennzeichnete Absatzmarktsituation und jede in Erwägung gezogene Ausgangskonstellation des Unternehmens zu Beginn der letzten Periode. Rückschreitend werden dann für jede Periode jene Programme ausgewählt, die in Verbindung mit den bereits ermittelten suboptimalen Entscheidungen der folgenden Perioden ein Gesamtoptimum ergeben. Dem dynamischen Programmansatz liegen folgende Annahmen zugrunde:

1. Unsicher sind lediglich die Preise der im Produktionsprogramm berücksichtigten Produkte und die mengenmäßigen Absatzgrenzen in den einzelnen Perioden.

2. Es liegen bedingte subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzungen über die möglichen Absatzsituationen in den einzelnen Perioden vor, wobei unter Absatzsituation ein bestimmtes Gefüge von Preisen und Absatzgrenzen der betrachteten Produkte verstanden wird.

3. Die Abfolge von Wahrscheinlichkeitsverteilungen über mögliche Absatzsituationen in der Zeit hat die Form eines allgemeinen, diskreten stochastischen Prozesses, dessen Übergangswahrscheinlichkeiten von allen vorangegangenen Zuständen abhängen.

4. Die Planung geht aus von einem gegebenen Gefüge von Investitionsobjekten und Finanzierungsmitteln zu Beginn des Planungszeitraums.

---

1) Dies ist das sogenannte Optimalitätsprinzip der dynamischen Programmierung. Vgl. Bellman, Richard E., Some Applications ..., a.a.O., S. 285; ders., Dynamic Programming, a.a.O., S. 83.

5. Die zur Wahl stehenden Investitionsalternativen schließen sich aus produktionstechnischen Gründen nicht gegenseitig aus.

6. Neben den zu Beginn des Planungszeitraums vorhandenen Mitteln stehen der Finanzierung der zukünftigen Investitionen und periodenfixen Auszahlungen nur die aus dem Verkauf der Produktion erzielten Deckungsbeiträge und die Zinsgutschriften für in der Vergangenheit mittelfristig angelegtes Kapital zur Verfügung.

7. Die Investitionsobjekte haben keine Wiederverkaufspreise. Der Schrottpreis entspricht bei Außerbetriebnahme den Demontagekosten.

8. Die Periodenlänge ist konstant.

9. Die die Investitionsvorgänge betreffenden Auszahlungen sowie die periodenfixen Auszahlungen erfolgen am Anfang einer Planperiode. Anpassungsauszahlungen werden zu Beginn der Periode fällig, in der die Anpassungen wirksam werden. Zinsgutschriften auf Finanzinvestitionen erfolgen am Ende jeder Planungsperiode, zum gleichen Zeitpunkt kann über die inzwischen angesammelten Beträge frei verfügt werden. Die variablen Produktionskosten und Erlöse fallen jeweils am Ende einer Planungsperiode an.

10. Die Produktion erfolgt lagerlos.

11. Es existiert nur eine Produktionsstufe.

12. Die variablen Produktionskosten verlaufen linear.

13. Die periodenfixen Ausgaben pro Investitionsobjekt sind vom Alter der Anlage unabhängig.

14. Der Ausbringungskoeffizient eines Aggregats ist von dessen Alter unabhängig.

15. Die technische Minimallebensdauer der Investitionsobjekte, bei der sich Ausbesserungsarbeiten und Wartung auf Mindestanforderungen beschränken, reicht in allen Fällen über den Planungshorizont hinaus.

16. Durch Anpassungsmaßnahmen, ungeachtet welcher Art und welchen Ausmaßes, wird die ursprüngliche technische Minimallebensdauer der Objekte nicht verkürzt.

17. Alle Investitionsentscheidungen, soweit sie die folgende Periode betreffen, sind im voraus zu treffen, d.h. in Unkenntnis darüber, welche der jeweils möglichen Absatzsituationen in der künftigen Periode eintreten wird.

18. Das Produktionsprogramm für eine Periode kann im nachherein, d.h. in Kenntnis der herrschenden Absatzsituation, festgelegt werden.

19. Das Unternehmen wird mit Ablauf des Planungszeitraums liquidiert.

20. Die Entscheidung trifft eine in der Willensbildung unabhängige Instanz, deren Ziel die Maximierung des Erwartungswertes des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums ist (monovariable, einzentrige Entscheidung).

Der optimale Gewinn der letzten Periode unter der Bedingung, daß in der vorletzten Periode der die Absatzsituation j_{m-1} repräsentierende Knotenpunkt $q^{j_{m-1}}$ realisiert worden ist, ist eine Funktion der aus den Entscheidungen der vorhergehenden Perioden resultierenden, zu Beginn der letzten Periode vorhandenen finanziellen Mittel und bereits im Betrieb befindlichen Investitionsobjekte.[1] Sie werden durch den Vektor $Z_m^{j_{m-1}}$ repräsentiert. Für den optimalen Gewinn, der für jeweils einen Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ definiert ist, gilt dann

$$(4.3.2.1)\quad G_m^{opt} \Big| q^{j_{m-1}} = G_m^{*j_{m-1}} = \Phi(Z_m^{j_{m-1}})$$

---

1) Sie sind die Zustandsparameter oder Zustandsvariablen des dynamischen Programmansatzes.

Zur Bewältigung dieses Problems ist für jeden Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ und für jede für möglich gehaltene Ausgangskonstellation der Zustandsparameter folgendes lineare Programm zu lösen.

4.3.2.1 Zielfunktion

$$(4.3.2.1.1)\quad G_m^{j_{m-1}} = \sum_{j_m \in I_{j_{m-1}}} \left[\sum_{\alpha=n+1}^{s} \sum_{\gamma} a_{\alpha\gamma} \cdot t_{\alpha\gamma}^{j_m} \cdot (p_\gamma^{j_m} - k_{m_{\alpha\gamma}}) \right] \cdot w^{j_m} + (1+r_m) \cdot y_m^{j_{m-1}} \longrightarrow \max.$$

Der Klammerausdruck stellt die mathematische Erwartung der Deckungsbeiträge aller produzierten und verkauften Güter in der letzten Periode dar, unter der Voraussetzung, daß in der Periode m-1 die Absatzsituation j_{m-1} realisiert worden ist. Um den Erwartungswert der Einzahlungsüberschüsse der letzten Periode zu erhalten, sind die am Ende des Planungszeitraums frei werdenden Mittel (einschließlich Verzinsung) aus Finanzanlagen in der letzten Periode hinzuzuaddieren.

Dabei symbolisiert

$G_m^{j_{m-1}}$ den Erwartungswert der Einzahlungsüberschüsse in der letzten Periode, unter der Voraussetzung, daß sich die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ reduziert hat,

$a_{\alpha\gamma}$ die Ausbringung pro Zeiteinheit vom Produkt γ, produziert auf einem sich im Zustand α befindlichen Aggregat,[1)]

$t_{\alpha\gamma}^{j_m}$ die geplante Produktionszeit auf dem Aggregat α am Produkt γ in der Periode m, falls die Absatzsituation j_m eintreten sollte,

---

1) Zum Begriff des Objektzustands vgl. S. 95 dieser Arbeit

$p_{\gamma}^{j_m}$ den Absatzpreis pro Mengeneinheit des Produktes γ in der Periode m und der Absatzsituation j_m,

$k_{m\alpha\gamma}$ die variablen Kosten pro Ausbringungseinheit des Produktes γ in der Periode m, produziert auf einem Aggregat des Typs α,

w^{j_m} die bedingte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Absatzsituation j_m,[1)]

r_m die Rendite für Finanzinvestitionen mit einer Laufzeit von einer Periode in der Planungsperiode m,

$y_m^{j_{m-1}}$ den Betrag, der zu Beginn der Periode m geplanten, zum Ende der gleichen Periode liquidierbaren Finanzinvestition im Fall einer Reduzierung der Prozeßerwartungen auf den Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$.

Die j_m durchlaufen jeweils die Indexmenge, die zu dem Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ gehört ($j_m \epsilon I_{j_{m-1}}$). Es gilt daher

$$\sum_{j_m \epsilon I_{j_{m-1}}} w^{j_m} = 1.$$

Es ist zu beachten, daß neben den produzierenden Aggregaten des Typs $\alpha = n+1, \ldots, s$ weitere Objekttypen $\alpha = 1, \ldots, n$, die nur mittelbar an der Produktion absatzfähiger Produkte beteiligt sind, im Programmansatz berücksichtigt werden. In der Praxis kann es sich z.B. um Werkhallen oder Hilfsbetriebe handeln. Für alle diejenigen Investitionsobjekte, die keine unmittelbaren Produktionsbeiträge leisten, existieren weder Ausbringungskoeffizienten noch variable Kostensätze.

1) $w^{j_m} = w(q^{j_m} \mid q^{j_{m-1}}),\ j_m \epsilon I_{j_{m-1}}$.

Bei der Maximierung der Zielfunktion sind folgende Nebenbedingungen zu beachten.

4.3.2.2 Kontinuitätsbedingungen

(4.3.2.2.1) $\sum_{\alpha} \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha} = \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'}$ für alle α'.

Es symbolisiert

$\bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha}$ die Anzahl der Investitionsobjekte, die durch Anpassungsmaßnahmen aus dem in der Periode m-1 wirksamen Zustand α' in den in der Periode m wirksamen Zustand α überführt werden sollen, unter der Voraussetzung, daß in der vorhergehenden Periode die Absatzsituation j_{m-1} vorlag,

$\bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'}$ die zu Beginn der Periode m im Betrieb vorhandenen Anlagen im Zustand α' vor Inangriffnahme von Umstellungsmaßnahmen, unter der Voraussetzung, daß sich die Prozeßerwartungen auf den Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ reduziert haben.

$\bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'}$ ist wie folgt definiert:

(4.3.2.2.2) $\bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'} = \sum_{\alpha''} \bar{x}^{j_{m-2}}_{m-1,\alpha'',\alpha'}$ für alle α'.[1)]

Für j_{m-1}, j_{m-2} gilt: $j_{m-1}, j_{m-2} \epsilon I_{j_{m-2}}$.

$\bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'}$ ($\alpha' = 1, \ldots, n, \ldots, s$) wird für alle in der Periode m zu berechnenden Programme jeweils fest vorgegeben.

Im Falle $\alpha' = \alpha$ bzw. $\alpha'' = \alpha'$ wird der bisherige Zustand beibehalten. Unter die Zustandsänderungen von Objekten lassen

---

1) α bzw. α'' durchläuft die Menge aller in Erwägung gezogenen Objektzustände. α' durchläuft die Menge aller Objektzustände mit Ausnahme des Zustands "endgültige Außerbetriebnahme".

sich ebenfalls vorübergehende Außerbetriebnahmen, Wiederinbetriebnahmen sowie endgültige Stillegungen subsumieren.

Die obigen Restriktionen stellen sicher, daß Zustandsvariationen nur an zu Beginn der Periode vorhandenen Objekten vorgenommen werden.

4.3.2.3 Kapazitätsbedingungen

Für unmittelbar am Produktionsprozeß beteiligte Anlagen erhält man:

$$(4.3.2.3.1) \quad \sum_{\gamma} t_{\alpha\gamma}^{j_m} - \sum_{\alpha'} T_{\alpha'} \cdot \bar{x}_{m\alpha'\alpha}^{j_{m-1}} - T_{\alpha} \cdot x_{m\alpha}^{j_{m-1}} \leq 0$$

$$\text{für alle } \alpha > n \text{ sowie } j_m \in I_{j_{m-1}}.$$

Es symbolisiert

$x_{m\alpha}^{j_{m-1}}$ die Anzahl der Investitionsobjekte des Typs α, die zu Beginn der Periode m angeschafft werden sollen, falls durch die Entwicklung der Absatzsituation in der Vorperiode die Prozeßerwartungen auf den Subgraphen $Gr_{j_{m-1}}$ reduziert worden sind,

T_{α} die in einer Periode maximal zur Verfügung stehende Produktionszeit auf einem Aggregat im Zustand α.

Die angegebenen Kapazitätsbedingungen sollen verhindern, daß die geplanten Produktionszeiten die vorhandenen Kapazitäten überschreiten.

Für mittelbar mit dem Produktionsprozeß in Verbindung stehende Anlagen gilt:

$$(4.3.2.3.2)\quad \sum_{\alpha} b_{\alpha\beta} \cdot x^{j_{m-1}}_{m\alpha} + \sum_{\alpha' \neq \alpha} b_{\alpha\beta} \cdot \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha} - \sum_{\alpha=1}^{n} B_{\alpha\beta} \cdot x^{j_{m-1}}_{m\alpha} - \sum_{\alpha'=1}^{n} \sum_{\alpha=1}^{n} B_{\alpha\beta} \cdot \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha} \leq 0$$

für alle β.

Dabei kennzeichnet

$b_{\alpha\beta}$ die Beanspruchung einer spezifischen Leistung β, die von mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Investitionsobjekten geliefert wird, durch ein Objekt des Typs α, gemessen in Einheiten der Leistungsart β,

$B_{\alpha\beta}$ die Kapazität eines mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Investitionsobjektes vom Typ α ($\alpha \leq n$) hinsichtlich der Leistungsart β, gemessen in Einheiten dieser Leistungsart.

Die Bedingungen (4.3.2.3.2) sollen sicherstellen, daß die Inanspruchnahme einer bestimmten Leistung der nur mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Anlagen durch geplante bzw. bereits im Betrieb vorhandene Investitionsobjekte das verfügbare Potential nicht überschreitet. Dabei wurde vereinfachend unterstellt, daß das Ausmaß der Belastung unabhängig von den produzierten Mengen ist, vielmehr allein von der Anzahl und Beschaffenheit der leistungsempfangenden Objekte abhängt, wie z.B. die Raumbeanspruchung oder der maximale Energieverbrauch der für die Produktion zur Verfügung stehender Aggregate. Allerdings bereitet es formal keine Schwierigkeiten, diese einschränkende Annahme aufzugeben.

4.3.2.4 Finanzierungsbedingung

$$(4.3.2.4.1)\quad \sum_{\alpha} d_{m\alpha} \cdot x^{j_{m-1}}_{m\alpha} + \sum_{\alpha} f_{m\alpha} \cdot x^{j_{m-1}}_{m\alpha} + \sum_{\alpha' \neq \alpha} f_{m\alpha} \cdot \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha} + \sum_{\alpha' \neq \alpha} e_{m\alpha'\alpha} \cdot \bar{x}^{j_{m-1}}_{m\alpha'\alpha} + y^{j_{m-1}}_{m} = H^{j_{m-1}}_{m}$$

Es symbolisiert

$d_{m\alpha}$ die Anschaffungsausgaben für ein Investitionsobjekt vom Typ α zu Anfang der letzten Periode,

$f_{m\alpha}$ die fixen Ausgaben der letzten Planungsperiode für ein sich im Zustand α befindliches Investitionsobjekt,

$e_{m\alpha'\alpha}$ die zu Anfang der Periode m anfallenden Anpassungsausgaben, um eine in dieser Periode wirksame Zustandsänderung von α' auf α bei einer Anlage zu erreichen.[1)]

Durch die Finanzierungsbedingung soll das finanzielle Gleichgewicht gewährleistet werden. Erfaßt werden Ausgaben für den Neuerwerb von Anlagen (erster Ausdruck), periodenfixe Ausgaben (zweiter und dritter Ausdruck) und Ausgaben für Anpassungsinvestitionen (vierter Ausdruck). Sie dürfen das zum Ende der Vorperiode bzw. zu Anfang der letzten Periode verfügbare Geldvermögen ($H_m^{j_{m-1}}$) nicht überschreiten. Wird $H_m^{j_{m-1}}$ durch die vorgenannten Ausgaben nicht aufgezehrt, dann werden die verbleibenden Mittel einer Finanzanlage zugeführt (letzter Ausdruck).
$H_m^{j_{m-1}}$ wird wie folgt definiert:

$$(4.3.2.4.2)\quad H_m^{j_{m-1}} = \sum_{\alpha=n+1}^{s} \sum_{\beta} a_{\alpha\beta} \cdot t_{\alpha\beta}^{j_{m-1}} \cdot (p_{\beta}^{j_{m-1}} - k_{m\alpha\beta}) + (1+r_{m-1}) \cdot y_{m-1}^{j_{m-2}} \geq 0 \quad (j_{m-1} \in I_{j_{m-2}}).$$

$H^{j_{m-1}}$ wird für alle im m zu berechnenden Programme jeweils fest vorgegeben.

---

1) Im Falle $\alpha' = \alpha$ ist $e_{i\alpha'\alpha} = 0$ (i = Periodenindex). Zustandsänderungen von Objekten, die technisch nicht durchführbar sind bzw. von vornherein als ökonomisch nicht sinnvolle Alternativen ausscheiden, sind als Aktionsvariable im Programm nicht vertreten.

4.3.2.5 Absatzbeschränkungen

(4.3.2.5.1) $\sum_{\alpha=n+1}^{s} a_{\alpha\gamma} \cdot t_{\alpha\gamma}^{j_m} \leq M_{\gamma}^{j_m}$ für alle γ und alle $j_m \in I_{j_{m-1}}$.

$M_{\gamma}^{j_m}$ kennzeichnet die maximal absetzbare Menge des Produkts γ in der Periode m und der Absatzsituation j_m.

4.3.2.6 Nichtnegativitätsbedingungen

(4.3.2.6.1) $t_{\alpha\gamma}^{j_m}, \; x_{m\alpha}^{j_{m-1}}, \; \bar{x}_{m\alpha'\alpha}^{j_{m-1}}, \; y_m^{j_{m-1}} \geq 0$ für alle α, α', γ und alle $j_{m-1} \in I_{j_{m-1}}$.

4.3.2.7 Die Struktur des Funktionalgleichungssystems der dynamischen Programmierung zur Lösung des m-stufigen Problems der flexiblen Investitionsplanung[1)]

Für die optimalen Investitions- und Produktionsentscheidungen der letzten beiden Perioden unter der Voraussetzung, daß der die Absatzsituation j_{m-2} repräsentierende Knotenpunkt $q^{j_{m-2}}$ realisiert worden ist, läßt sich folgendes Funktional schreiben:

(4.3.2.7.1) $G_{m-1}^{opt} \Big| q^{j_{m-2}} = G_{m-1}^{*j_{m-2}} = \Phi(Z_{m-1}^{j_{m-2}})$

$$= \max \left\{ E\left[G_m^{*j_{m-1}}(Z_m^{j_{m-1}}(Z_{m-1}^{j_{m-2}}, Pr^{j_{m-1}})) \right] \right\}$$

$$= \max \left[\sum_{j_{m-1} \in I_{j_{m-2}}} w^{j_{m-1}} \cdot G_m^{*j_{m-1}}(Z_m^{j_{m-1}}(Z_{m-1}^{j_{m-2}}, Pr^{j_{m-1}})) \right]$$

1) Vgl. zur Struktur des Funktionalgleichungssystems bei stochastischen Problemen Schneeweiß, Hans, Ein allgemeines Schema des stochastischen Programmierens, in: Statistische Hefte, 3. Jg. (1962), S. 131-157, hier S. 148-154; Wentzel, J.S., a.a.O., S. 117-118.

Das obige Funktional besagt, daß der optimale Erwartungswert des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums[1] unter der Voraussetzung, daß in der drittletzten Periode die Absatzmarktkonstellation j_{m-2} eingetreten ist, gebildet wird durch Maximierung des Erwartungswertes der für die letzte Periode bereits berechneten suboptimalen Zielfunktionswerte $G_m^{*j_{m-1}}$.

Die optimalen Zielfunktionswerte für die letzte Periode sind, wie bereits dargelegt, eine Funktion der Objekt- und Finanzierungsmittelstrukturen, wie sie zu Beginn der letzten Periode vorliegen können (Vektor $Z_m^{j_{m-1}}$). Diese Strukturen wiederum sind - unter Beachtung des relevanten Subgraphen - abhängig von der jeweiligen Ausgangsstruktur sowie den auf ihr basierenden Investitions- und Produktionsentscheidungen der vorletzten Periode, gekennzeichnet durch die Vektoren $Z_{m-1}^{j_{m-2}}$ und $Pr^{j_{m-1}}$.

Für die vorletzte Planperiode stellt sich also das Problem, für jede zu Beginn dieser Periode in Betracht gezogene Absatzmarktsituation, ausgehend von unterschiedlichen Konstellationen des bereits vorhandenen Vermögens, jeweils einen optimalen Investitionsplan sowie ein Bündel optimaler, die Produktion betreffender Alternativpläne zu berechnen, wobei auf die schon ermittelten und gespeicherten suboptimalen Ergebnisse der letzten Stufe zurückgegriffen werden kann. Gegeben sei z.B. ein beliebiger Knotenpunkt $q^{j_{m-2}}$ im Zustandsbaum[2] und eine beliebige Vermögenskonstellation $Z_{m-1}^{j_{m-2}}$. Aus der Menge der zulässigen Alternativ-

---

1) Da für die zum Ende einer Periode freiwerdenden Mittel alle in Erwägung gezogenen Wiederanlagemöglichkeiten im Modell berücksichtigt werden, entspricht die Maximierung des Erwartungswertes des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums der Maximierung des Erwartungswertes des Einzahlungsüberschusses zum Ende der letzten Planperiode. Die Struktur unseres Ansatzes lehnt sich in dieser Hinsicht an das Modell von H. Hax an. Vgl. Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung ..., a.a.O., S. 435-439.

2) Vgl. den Zustandsbaum auf S. 99 dieser Arbeit.

pläne, die für die zweitletzte Periode unter diesen Umständen in Betracht kommen,[1] ist jenes Bündel auszuwählen,[2] das unter Beachtung der bereits auf der letzten Stufe u.a. für alle $j_{m-1} \epsilon I_{j_{m-2}}$ explizit entwickelten Funktionalgleichungen des Typs (4.3.2.1)[3] den Erwartungswert des Endvermögens maximiert.

Allgemein ergibt sich für die Periode i unter der Voraussetzung, daß der die Absatzmarktkonstellation j_{i-1} repräsentierende Knotenpunkt q^{ji-1} realisiert worden ist, das Suboptimum

$$(4.3.2.7.2)\quad G_i^{opt} \mid q^{ji-1} = G_i^{*ji-1} = \overline{\phi}(z_i^{ji-1})$$

$$= \max \left\{ E\left[G_{i+1}^{*ji}(z_{i+1}^{ji}(z_i^{ji-1},\ Pr^{ji})) \right] \right\}$$

$$= \max \left[\sum_{j_i \epsilon I_{j_{i-1}}} w^{ji} . G_{i+1}^{*ji}(z_{i+1}^{ji}(z_i^{ji-1},\ Pr^{ji})) \right] .$$

Wenn angenommen wird, daß auch über die Absatzmarktkonstellationen der ersten Planungsperiode keine sicheren Erwartungen existieren, so kann für das Gesamtoptimum die folgende Funktionalgleichung formuliert werden.

$$(4.3.2.7.3)\quad G_1^{opt} = G_1^* = G^* = \max \left\{ E\left[G_2^{*j1}(z_2^{j1}(Pr^{j1})) \right] \right\}$$

$$= \max \sum_{j_1 \epsilon I_{j_0}} w^{j1} . G_2^{*j1}(z_2^{j1}(Pr^{j1})) .$$

---

1) Jeder dieser Alternativpläne kann durch einen Vektor $Pr^{jm-1}\ (j_{m-1} \epsilon I_{j_{m-2}})$ beschrieben werden.

2) Ein derartiges Bündel enthält so viele Alternativpläne, wie Absatzmarktkonstellationen $j_{m-1}(j_{m-1} \epsilon I_{j_{m-2}})$ erwogen werden. Da die Investitionsentscheidungen voraussetzungsgemäß vor Kenntnis der Lage am Absatzmarkt zu fällen sind, unterscheiden sich die zu einem solchen Bündel gehörenden Alternativpläne lediglich durch die geplanten Produktionsentscheidungen.

3) Vgl. oben S. 103.

Der geschilderte dynamische Programmansatz zerlegt die Gesamtplanung in m Stufen, d.h. in die aus der Aufspaltung des Planungszeitraums resultierenden Planungsperioden. Zunächst werden für jeden Subgraphen der m-ten Periode lineare Programme gelöst, die auf der Grundlage des Erwartungswertes der Einzahlungsüberschüsse optimale Investitionspläne und für die jeweils möglichen Absatzsituationen eines Subgraphen optimale Produktionsprogramme liefern. Die Lösung eines derartigen Programmansatzes ist u.a. davon abhängig, in welchem Umfang auf bereits vorhandene Finanzierungsmittel und Investitionsobjekte zurückgegriffen werden kann. Da zunächst nicht bekannt ist, welche Finanzmittel und Investitionsobjekte aus der (m-1)-ten Periode übernommen werden können, muß eine ausreichende Anzahl zulässiger Ausgangskonstellationen den Programmansätzen auf der letzten Stufe zugrunde gelegt werden. Das zu Beginn der Programmformulierung angegebene Funktional trägt dieser dynamischen Beziehung Rechnung. Schrittweise werden nun für alle vorhergehenden Perioden und jeweils jeden Subgraphen analoge Programmansätze formuliert. Die Fernwirkungen der Entscheidungen jeder Periode werden durch die Einbeziehung der bereits ermittelten Suboptima für die folgenden Perioden berücksichtigt. Der Weg zur optimalen Gesamtlösung wird dann durch m-1 rekursive Verknüpfungen der Form (4.3.2.7.2) markiert.

4.3.3 Das Problem der Lösung des dynamischen Programmansatzes zur flexiblen Investitionsplanung

Die für die Lösung des vorgelegten Programmansatzes entscheidende Frage ist, in welcher Form die suboptimalen Zielfunktionswerte der folgenden Stufe in Abhängigkeit von den jeweiligen Entscheidungen der Vorstufe in die Zielfunktion dieser Stufe übernommen werden können. Die Bestimmung dieses Funktionals ist ein Problem der linear-parametrischen

Programmierung.[1] Wie Bereanu nachgewiesen hat,[2] sind die Zielwerte einer linearen Maximierungsaufgabe in Abhängigkeit von Parameterwerten, die die Höchstgrenzen der Nebenbedingungen konstituieren, durch eine stückweise lineare, konkave Funktion darstellbar.

Es sei z.B. folgendes parametrisches Programmierungsproblem gegeben:[3]

$\lambda(t) = \max c'x,$

unter Beachtung der Nebenbedingungen

$$Ax = b + Bt,$$
$$x \geqq 0 .$$

c, x und 0 sind (n x 1)-Vektoren, b ist ein (m x 1)-Vektor, t ein (p x 1)-Vektor, A ist eine (m x n)-Matrix und B eine (m x p)-Matrix.
Es wird die Annahme gemacht, daß die t_i $(1 \leqq i \leqq p)$, die die Komponenten von t darstellen, beidseitig begrenzt sind, wobei die Menge aller t's mit T gekennzeichnet ist. Außerdem wird unterstellt, daß für jedes $t \in T$ die Menge X_t der Lösungen des obigen Maximierungsproblems beschränkt und nicht leer ist. Unter diesen Voraussetzungen erhält man für

$$\lambda(t) = \max_{x \in X_t} c'x$$

die stückweise lineare, konkave Funktion

---

1) Zur parametrischen Programmierung vgl. Saaty, Thomas and Saul Gass, Parametric Objective Function (Part 1), in: Operations Research, vol. 2 (1954), S. 316-319; Gass, Saul I. and Thomas L. Saaty, Parametric Objective Function (Part 2), Generalization, in: Operations Research, vol. 3 (1955), S. 395-401; Joksch, H.C., Lineares Programmieren, Tübingen 1962, S. 101-118.

2) Vgl. Bereanu, B., A Property of Convex Piecewise Linear Functions with Applications to Mathematical Programming, in: Unternehmensforschung, Bd. 9 (1965), S. 112-119, bes. S. 116-117.

3) Zu den folgenden Ausführungen und den dazugehörigen Beweisen vgl. Bereanu, B., a.a.O., S. 116-117. Formeln und Symbole wurden gleichlautend übernommen.

$$(4.3.3.1)\quad \lambda(t) = \min_{1 \leq i \leq q} \left[l_0^i + \sum_{k=1}^{p} l_k^i \cdot t_k \right] \qquad (t \in T) .$$

Die Zahlen l_k^i und q sind nicht von t abhängig, man erhält sie mit der Lösung des parametrischen Programms.

Wird vorausgesetzt, daß dieses Problem für beliebig große p lösbar ist, kann also für jedes i die Funktion

$l_0^i + \sum_{k=1}^{p} l_k^i \cdot t_k$ und deren Gültigkeitsbereich angegeben werden, dann hätte das für unser flexibles Planungsmodell die Konsequenz, daß für jeden Knotenpunkt des Zustandsbaums ein parametrisches Programm zu formulieren wäre, dessen Lösung sowohl die optimalen Alternativpläne als auch die optimalen Zielfunktionswerte dieser Stufe in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausgangskonstellation der bereits installierten Anlagen und vorhandenen Finanzierungsmittel angibt. Die so ermittelten Optimalfunktionen des Typs (4.3.3.1) wären bei der Formulierung der Zielfunktionen zu den Programmen der jeweiligen Vorstufe zu berücksichtigen. Dazu wäre es notwendig, durch Festlegung neuer Variablen und Nebenbedingungen den Geltungsbereich der einzelnen Gliedfunktionen abzustecken. Da für (4.3.3.1) die Konkavitätsbedingung erfüllt ist, führt die Anwendung des Simplexalgorithmus automatisch zu einer geschlossenen Abfolge der linearen Teilausdrücke, die Formulierung von Reihenfolgebedingungen ist überflüssig.[1)]

Die Durchführung des angedeuteten Lösungsweges stößt jedoch im Rahmen des flexiblen Planungsmodells auf Schwierigkeiten.

---

1) Vgl. zur Behandlung stückweise linearer Zielfunktionen Dantzig, George B., On the Status of Multistage Linear Programming Problems, in: Management Science, vol. 6 (1960), S. 53-72, insbes. S. 62-63; Seelbach, Horst A., a.a.O., S. 68-76. Das in der Literatur beschriebene Vorgehen beschränkt sich auf einparametrige Probleme.

Es ist bisher praktisch nur möglich, linear-parametrische Programme mit höchstens zwei Parametern zu lösen.[1] Daher können lediglich für eine begrenzte Anzahl unterschiedli-

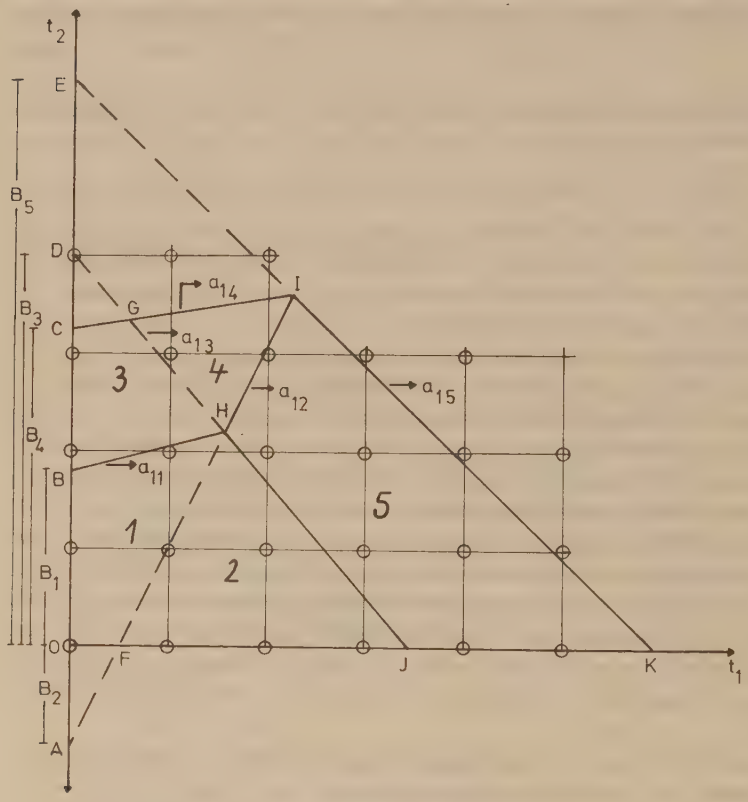


Abb. 8

1) Vgl. Gass, Saul I. und Thomas L. Saaty, Parametric Objective Function (Part 2), a.a.O., S. 400; Joksch, H.C.,a.a.O., S. 112; Kern, Werner, Die Empfindlichkeit linear geplanter Programme, in: Betriebsführung und Operations Research, hrsg. von Adolf Angermann, Frankfurt a.M. 1963, S. 49-79, hier S. 69.

cher Ausgangskonstellationen der Zustandsparameter optimale Zielfunktionswerte ermittelt werden. Mit Hilfe linearer Approximationen können jedoch Funktionen der Form (4.3.3.1) gewonnen werden, die ihrerseits wieder in die Programmformulierung der Vorstufe eingehen. Ein Beispiel zu einem zweiparametrigen Problem mag der Verdeutlichung dienen (Abb. 8).

Gegeben sei ein lineares Parametrisierungsproblem entsprechend der weiter oben skizzierten Struktur,[1] mit den Parametern t_1 und t_2. Um eine Approximation der Optimalfunktion $Z = f(t_1,t_2)$ zu erreichen, wurden für eine begrenzte Anzahl von t_1,t_2-Kombinationen, die in Abbildung 8 als eingekreiste Gitterpunkte markiert sind, entsprechend dem zugrunde liegenden linearen Programm maximale Zielfunktionswerte Z_j ermittelt. Erweitert man die zweidimensionale Darstellung in Abbildung 8 gedanklich um eine weitere Dimension, so gehört zu jedem markierten Gitterpunkt ein senkrecht über ihm liegender Z-Wert. Stellt man zwischen benachbarten Z-Werten gerade Verbindungslinien her, dann läßt sich ein Polyeder erzeugen, der die Funktion $Z = f(t_1,t_2)$ approximiert. Die Flächen des Polyeders werden in Abbildung 8 in die t_1,t_2-Ebene projiziert. Wir erhalten die Vierecke OBHJ, BCIH und JHIK. Es gelte nun, unter einer Reihe von Nebenbedingungen die durch die lineare Approximation erzeugte stückweise lineare und konkave Funktion $\hat{Z} = g(t_1,t_2)$ zu maximieren. Dieses Problem entspricht prinzipiell den Teilproblemen, die sich im Rahmen des vorgelegten dynamischen Programmierungsansatzes zur flexiblen Investitionsplanung auf den der letzten Periode vorgelagerten Stufen ergeben und die sich durch die Funktionalgleichung (4.3.2.7.2) formal wiedergeben lassen.[2]

---

1) Vgl. oben S. 114.

2) Vgl. oben S. 112.

Um die stückweise lineare Zielfunktion der Simplexmethode zugänglich zu machen, ist unter Verwendung von Hilfsvariablen und zusätzlichen Nebenbedingungen jeweils der Gültigkeitsbereich der linearen Gliedfunktionen von $\hat{Z}$ abzugrenzen. Auf Reihenfolgebedingungen hinsichtlich dieser Gliedfunktionen kann verzichtet werden, da wegen der Konkavitätseigenschaft von $\hat{Z}$ bei Anwendung der Simplexmethode die ursprüngliche Reihenfolge stets eingehalten wird.

Im Beispiel der Abbildung 8 werden die Parameter t_1 und t_2 durch die Hilfsvariablen t_{1k} (k=1, ..., 5) und t_{2k} (k=1, ..., 5) ersetzt.

Es gilt dann:

$$t_1 = \sum_{k=1}^{5} t_{1k} \quad \text{und} \quad t_2 = \sum_{k=1}^{5} t_{2k} \,.$$

Zu jeder Begrenzungsfläche des Polyeders, d.h. zu jeder Gliedfunktion von $\hat{Z}$ gehört ein Hilfsvariablenpaar t_{1k}, t_{2k}, wobei es im Beispiel der Abbildung 8 erforderlich ist, die in die Ebene projizierten Polyederflächen OBHJ und BCIH entsprechend der gestrichelten Linien in jeweils zwei Teilflächen aufzuspalten,[1] um so den Einfluß der eine Gliedfunktion eingrenzenden Nebenbedingungen auf andere Gliedfunktionen von $\hat{Z}$ zu neutralisieren. Wir erhalten daher im t_1, t_2-Koordinatensystem die folgenden fünf Polygone, denen fünf Gliedfunktionen von $\hat{Z}$ zugeordnet sind:

Polygon	zugehöriges Hilfsvariablenpaar
1 = OBHF	t_{11}, t_{21}
2 = FHJ	t_{12}, t_{22}
3 = BCGH	t_{13}, t_{23}
4 = HGI	t_{14}, t_{24}
5 = JHIK	t_{15}, t_{25} .

---

1) Den neuen Teilflächen entsprechen zwei neue Gliedfunktionen mit identischen partiellen Ableitungen.

Die Zielfunktion des linearen Programms lautet nun:

$$(4.3.3.2)\quad \hat{Z} = \sum_{k=1}^{5} c_{1k} \cdot t_{1k} + \sum_{k=1}^{5} c_{2k} \cdot t_{2k} \longrightarrow \max$$

c_{1k} bzw. c_{2k} messen die Steigung der k-ten Begrenzungsfläche des Polyeders in zwei zueinander senkrechten Richtungen, wobei die Richtungen in der Ebene parallel zur t_1- bzw. t_2-Achse verlaufen.
Es ist zu beachten, daß wegen der Zerlegung von OBHJ und BCIH $c_{11} = c_{12}$, $c_{21} = c_{22}$, $c_{13} = c_{14}$ und $c_{23} = c_{24}$.

Um den Gültigkeitsbereich der Gliedfunktionen abzugrenzen, sind folgende Nebenbedingungen zusätzlich zu beachten:

$$(4.3.3.3)\quad - a_{11} \cdot t_{11} - a_{11} \cdot t_{12} + t_{21} + t_{22} \leqq B_1$$

$$(4.3.3.4)\quad - a_{12} \cdot t_{11} - a_{12} \cdot t_{13} - a_{22} \cdot t_{14} + t_{21} + t_{22} + t_{24} \leqq B_2$$

$$(4.3.3.5)\quad - a_{12} \cdot t_{12} - a_{12} \cdot t_{15} + t_{22} + t_{25} \leqq 0$$

$$(4.3.3.6)\quad - a_{13} \cdot t_{11} - a_{13} \cdot t_{12} - a_{13} \cdot t_{13} + t_{21} + t_{22} + t_{23} \leqq B_3$$

$$(4.3.3.7)\quad - a_{14} \cdot t_{11} - a_{14} \cdot t_{12} - a_{14} \cdot t_{13} - a_{14} \cdot t_{14} + t_{21} + t_{22} + t_{23} + t_{24} \leqq B_4$$

$$(4.3.3.8)\quad - a_{15} \cdot t_{11} - a_{15} \cdot t_{12} - a_{15} \cdot t_{13} - a_{15} \cdot t_{14} - a_{15} \cdot t_{15} + t_{21} + t_{22} + t_{23} + t_{24} + t_{25} \leqq B_5$$

a_{1k} und B_{2k} (k=1, ..., 5) sind reelle Zahlen, die die Steigungen bzw. die Ordinatenabschnitte der Geraden angeben, welche die in Abbildung 8 eingezeichneten Polygone begrenzen.

Unter Beachtung der sich aus der jeweiligen Struktur des zu behandelnden Problems ergebenden Modifikation der Zielfunktion (4.3.3.2) und unter Beachtung sonstiger Nebenbedingungen läßt sich das hier skizzierte Programm grundsätzlich mit Hilfe der Simplexmethode lösen.

Eine andere Möglichkeit der Planperiodenverknüpfung besteht, wenn die Programme auf den einzelnen Stufen ganzzahlig konzipiert werden. Die Zielfunktion für eine beliebige Periode i ($i < m$), unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist, lautet dann:

$$(4.3.3.9) \quad \sum_{j_i \in I_{j_{i-1}}} \sum_{\nu} w^{j_i} \cdot G^{*j_i}_{i+1}\left(Z^{j_i}_{i+1,\nu}\right) \cdot 1^{j_i}_{\nu} \longrightarrow \max.$$

Es symbolisiert $G^{*j_i}_{i+1}(Z^{j_i}_{i+1,\nu})$ den optimalen Zielfunktionswert in der Planperiode i+1 in Abhängigkeit von der zu Beginn dieser Periode herrschenden, durch den Vektor $Z^{j_i}_{i+1,\nu}$ gekennzeichneten Konstellation der Zustandsparameter,[1] unter der Voraussetzung, daß in der Vorperiode die Absatzsituation j_i ($j_i \in I_{j_{i-1}}$) eingetreten ist. $1^{j_i}_{\nu}$ ist eine 0-1-Variable, die den Wert 1 annimmt, wenn die Entscheidungen der i-ten Periode die Konstellation $Z^{j_i}_{i+1,\nu}$ zur Folge haben. Führen z.B. die für die i-te Periode und die Absatzsituation j_i geplanten Entscheidungen dazu, daß zu Beginn der i+1-ten Periode das Unternehmen sich durch eine Konstellation von vorhandenen Investitionsobjekten und Finanzierungsmitteln auszeichnet, wie sie der Vektor $Z^{j_i}_{i+1,15}$ beschreibt, dann ist $1^{j_i}_{15} = 1$, andernfalls ist $1^{j_i}_{15} = 0$ und irgendein anderes

---

1) Im Rahmen der dynamischen Programmierung werden die unabhängigen Veränderlichen der Optimalfunktionen, die aus den für die einzelnen Stufen aufzustellenden Funktionalgleichungen zu berechnen sind, Zustandsvariable oder -parameter genannt. Zustandsvariable des in Abschnitt 4.3.2 vorgelegten Modells sind die berücksichtigten Investitionsobjekte unterschiedlicher Ausprägung sowie die liquiden Mittel. Vgl. auch Fußnote 1 auf S. 103 dieser Arbeit.

$1_\nu^{j_i}$ ($\nu \neq 15$) erhält den Wert 1.

Zusätzlich zu den Restriktionen des Abschnitts 4.3.2 sind die nachfolgenden Bedingungen zu beachten:

$$(4.3.3.10)\quad \sum_{\alpha=n+1}^{s} \sum_{\gamma} a_{\alpha\gamma} \cdot t_{\alpha\gamma}^{j_i} \cdot (p_\gamma - k_{i\alpha\gamma}) + (1+r_i) \cdot y_i^{j_i-1} \leq H_{i+1,\nu}^{j_i} + N \cdot (1 - 1_\nu^{j_i})$$

für alle ν und alle $j_i \in I_{j_{i-1}}$,

$$(4.3.3.11)\quad \sum_{\alpha=n+1}^{s} \sum_{\gamma} a_{\alpha\gamma} \cdot t_{\alpha\gamma}^{j_i} \cdot (p_\gamma - k_{i\alpha\gamma}) + (1+r_i) \cdot y_i^{j_i-1} \geq H_{i+1,\nu}^{j_i} \cdot 1_\nu^{j_i},$$

für alle ν und alle $j_i \in I_{j_{i-1}}$,

$$(4.3.3.12)\quad x_{i\alpha}^{j_i-1} + \sum_{\alpha'} \bar{x}_{i\alpha'\alpha}^{j_i-1} \leq \bar{x}_{i+1,\alpha\nu}^{j_i} + N \cdot (1 - 1_\nu^{j_i})$$

für alle α, ν und alle $j_i \in I_{j_{i-1}}$,

$$(4.3.3.13)\quad x_{i\alpha}^{j_i-1} + \sum_{\alpha'} \bar{x}_{i\alpha'\alpha}^{j_i-1} \geq \bar{x}_{i+1,\alpha\nu}^{j_i} \cdot 1_\nu^{j_i}$$

für alle α, ν und alle $j_i \in I_{j_{i-1}}$,

$$(4.3.3.14)\quad \sum_{\nu} 1_\nu^{j_i} = 1 \qquad \text{für alle } j_i \in I_{j_{i-1}},$$

(4.3.3.15) 1^{ji}_{ν} = ganzzahlig 0 oder 1.

$H^{ji}_{i+1,\nu}$ und $\bar{x}^{ji}_{i+1,\alpha\nu}$ sind Komponenten des Vektors $Z^{ji}_{i+1,\nu}$, N ist eine sehr große Zahl. Die Nebenbedingungen (4.3.3.10) - (4.3.3.15) stellen sicher, daß der suboptimale Erwartungswert $G^{*ji}_{i+1}(Z^{ji}_{i+1,\nu})$ nur dann in der Zielfunktion vertreten ist, wenn die durch den Vektor Pr^{ji} repräsentierten Programmentscheidungen zu der Zustandsparameterkonstellation $Z^{ji}_{i+1,\nu}$ führen. Läuft ν von 1 bis u, dann sind wegen (4.3.3.14) und (4.3.3.15) immer $\frac{u-1}{u}$ der neu aufgenommenen Bedingungen (4.3.3.10) - (4.3.3.13) redundant.

Die Programmansätze auf den einzelnen Stufen können nun z.B. mit Hilfe des additiven Algorithmus von Balas[1] gelöst werden. Bei der für die Durchführung des additiven Algorithmus notwendigen Aufspaltung der Produktvariablen in binäre Variablen sind die Einheiten so zu wählen, daß die Einzahlungsüberschüsse als ganzzahlig Vielfaches der Einheit des Parameters $H^{ji}_{i+1,\nu}$ dargestellt werden können.

Ungeachtet der vereinfachenden Prämissen muß man in dem vorgelegten Selbstfinanzierungsmodell auf jeder Stufe von einer Fülle von Kombinationen unterschiedlicher Investitionsobjekte und Finanzierungsspielräume ausgehen, um eine ausreichende Abfolge der auf den vorgelagerten Stufen benötigten suboptimalen Programme berechnen zu können. Es liegt auf der Hand, daß ein Durchspielen aller Kombinatio-

---

1) Vgl. zum additiven Algorithmus Balas, Egon, An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables, in: Operations Research, vol. 13 (1965), S. 517-546; Brauer, Karl M., Binäre Optimierung, Diss. Saarbrücken 1968, bes. S. 58-87. Zu den von Fleischmann bzw. Brauer entwickelten Verbesserungen dieses Algorithmus vgl. Brauer, Karl M., a.a.O., S. 98-115.

nen der Zustandsparameter i.a. nicht möglich und auch nicht sinnvoll ist. Bei Planungsaufgaben langfristigen Charakters, die von unsicheren Zukunftsvorstellungen ausgehen, kann und muß in gewissen Grenzen auf Genauigkeit und Vollständigkeit verzichtet werden. Eine Möglichkeit, den Rechenaufwand im vorliegenden Modell zu verringern, besteht darin, zunächst für die einzelnen Typen von Investitionsobjekten den Bereich der relevanten Kombinationen abzuschätzen. Dabei ist von den Erfahrungen der Vergangenheit und von der durch die Kanten und Knotenpunkte des Graphen als möglich antizipierten Entwicklung in der Zukunft auszugehen. Eine Reihe von Kombinationstypen wird dabei von vornherein ausscheiden.[1] Ebenso werden sich für die Finanzierungsspielräume obere und untere Grenzen angeben lassen, die mit den hypothetischen Absatzverläufen variieren werden. Um die Zahl der Kombinationen der Zustandsvariablen weiter einzugrenzen, sind für die finanziellen Ausgangswerte entsprechende Geldeinheiten zu definieren (z.B. Einheiten zu 100.000 oder 1.000.000 DM).

Bei der Bestimmung der für relevant erachteten Kombinationsmöglichkeiten auf den einzelnen Stufen kann es in praxi empfehlenswert sein, als Orientierungshilfe zunächst einen Operationsbereich abzustecken,[2] der unter Beachtung der unternehmerischen Zielsetzung den Aktionsspielraum in Abhängigkeit von der Schwankungsbreite der unsicheren Daten umreißt. Zur Festlegung der Grenzen des Operationsbereichs werden aus dem Spektrum der Absatzerwartungen extreme, jedoch für möglich gehaltene Marktentwicklungen herausgegriffen. Die so gewonnenen zeitlichen Abfolgen möglicher

---

1) Unter wirklichkeitsnäheren Prämissen wäre in einem ganzzahlig konzipierten Ansatz zu berücksichtigen, daß sich eine Reihe von Investitionsalternativen aus produktionstechnischen Gründen gegenseitig ausschließen. Diese Tatsache würde zu einer weiteren Verringerung der berücksichtigungsfähigen Ausgangskombinationen führen.

2) Zur Konzeption unternehmerischer Operationsbereiche vgl. Wittmann, Waldemar, a.a.O., S. 164-172.

Absatzdaten sollten extrem günstige und ungünstige Tendenzen sowie Entwicklungen mit extremen zeitlichen Schwankungen einzelner wichtiger Produkte oder Produktgruppen repräsentieren. Den selektierten Konstellationen entsprechen im Baumgraphen jeweils isolierte Kantenabfolgen. Für jede derartige Abfolge von Umweltbedingungen ist alsdann ein deterministischer Programmansatz zu lösen. Die optimalen Ergebnisse dieser deterministischen Programme liefern die Komponenten zur groben Markierung der Grenzen, in denen sich die zu planenden Investitions- und Finanzierungsentscheidungen bewegen. Auf dieser Basis werden dann Überlegungen anzustellen sein über die Variationsbreite der Zustandsparameter in den einzelnen Perioden und Absatzsituationen. Dabei ist zu erwarten, daß sich der Operationsbereich zum Planungsursprung hin verengt. Die Annahme scheint berechtigt, daß bei geschickter Auswahl der potentiellen zeitlichen Abfolgen der zufälligen Veränderlichen, für die diese Testprogramme gelöst werden sollen, bereits eine geringe Anzahl von Tests ausreicht, eine wesentliche Reduktion in der Dimensionierung des dynamischen Programmierungsproblems zu erzielen.

Zum Schluß dieses Abschnitts sei noch kurz auf den Unterschied zwischen dem von uns vorgelegten Planungsmodell und den von Magee bzw. Hespos und Straßmann entwickelten Ansätzen[1] eingegangen. Das Verfahren der Entscheidungsbäume versucht, das Problem einer Investitionsplanung bei mehrwertigen Erwartungen in zwei Schritten zu lösen. Zunächst werden für jeden zulässigen Alternativplan[2] die entschei-

---

1) Zur Darstellung vgl. oben S. 87 ff.

2) Ein Alternativplan ist zulässig, wenn das Erwartungsspektrum zumindest eine zeitliche Entwicklung des relevanten Umweltausschnitts enthält, bei der dieser Plan realisiert werden kann.

dungsrelevanten Ergebnisse ermittelt, sei es mit Hilfe der Simulationstechnik auf der Grundlage kontinuierlicher Wahrscheinlichkeitsverteilungen der wesentlichen Zustandskomponenten der Umwelt oder im Falle diskreter Zufallsprozesse gesondert für alle zeitlichen Abfolgen von Umweltkonstellationen, für die der Alternativplan zulässig ist. Ein Alternativplan legt jeweils eine eindeutige zeitliche Reihenfolge bestimmter Entscheidungen fest. In einem zweiten Schritt wird aus der Gesamtmenge der zulässigen Alternativpläne jenes Bündel ausgewählt, das der Zielsetzung der Unternehmung bei gegebener Erwartungsstruktur am besten entspricht. Dabei wird jeder in Erwägung gezogenen zeitlichen Entwicklung des relevanten Ausschnitts der Umwelt ein Alternativplan zugeordnet, Die soeben beschriebene Prozedur würde - übertrüge man sie auf das von uns aufgezeigte Planungsproblem - dazu führen, für jeden Kantenzug unseres Zustandsbaums alle zulässigen zeitlich-vertikalen und zeitlich-horizontalen Kombinationen von Investitions- und langfristigen Produktionsentscheidungen zu enumerieren, zu bewerten und diejenigen Verknüpfungen von Alternativplänen auszusondern, welche den mathematischen Erwartungswert des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums maximieren. Für diesen letzten Schritt würde man sich der von Magee vorgeschlagenen, in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen roll-back-Technik bedienen.

Das von uns vorgeschlagene Vorgehen vermeidet eine vollständige Enumeration aller zulässigen Alternativpläne, indem das gesamte Entscheidungsproblem in viele kleine Teilprobleme aufgespalten wird, die mit Hilfe der linearen Programmierung gelöst werden können. Die Anwendung des Prinzips der dynamischen Programmierung macht es zwar notwendig, für jeden Knotenpunkt des Zustandsbaums so viele lineare Programme zu lösen, wie Ausgangskonstellationen bereits vorhandener Investitionsobjekte und Finanzierungsmittel berücksichtigt werden, dafür sind jedoch alle zu lösenden Teilprobleme

lediglich ein- oder zweistufig.[1] Die zweistufigen Teilprobleme bestehen jeweils darin, eine optimale Auswahl unter den schon ermittelten suboptimalen Strategien der Folgeperiode zu treffen. Diese Dekomposition führt stufenweise rückschreitend zur Ermittlung der optimalen Gesamtstrategie. Gegenüber dem Verfahren der Entscheidungsbäume ergeben sich also zwei Vorteile:

1. Durch die kombinative Anwendung der dynamischen und linearen Programmierung wird eine vollständige Enumeration aller zulässigen Alternativpläne vermieden.
2. Bewertung und optimale Auswahl von Alternativplänen erfolgt simultan.

4.3.4 Senvivitätsanalyse im Rahmen einer flexiblen Investitionsplanung

Der Vorteil des geschilderten dynamischen Planungsansatzes gegenüber den bisherigen Methoden zur Bestimmung eines optimalen Investitionsprogramms liegt in der expliziten Berücksichtigung künftiger Anpassungsmöglichkeiten an in Erwägung gezogene Absatzmarktsituationen. Zu diesem Zweck war es nötig, die Entwicklung der relevanten Daten in der Zukunft als allgemeinen, diskreten stochastischen Prozeß aufzufassen. Die von A.G. Hart entwickelten Prinzipien der flexiblen Planung wurden mit Hilfe der dynamischen Programmierung für die Steuerung von Investitionsentscheidungen nutzbar gemacht.

Bei der Formulierung des Modells wurde davon ausgegangen, daß der Entscheidungsträger unterschiedlichen Markterwar-

---

1) Die einstufigen Entscheidungsprobleme betreffen ausschließlich die letzte Periode.

tungen subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnen kann. Diese Wahrscheinlichkeitsurteile werden in der Regel vom realisierten Informationsstand abhängen, der i.a. durch gezielte Ausgaben für die Informationsbeschaffung in Grenzen verbessert werden kann. Es kann daher für den Entscheidenden von Vorteil sein, bereits im vornherein zu wissen, wie empfindlich das Programm auf Abweichungen dieser Art reagiert, um notfalls eine andere zulässige, allerdings gegenüber Abweichungen in der Erwartungsstruktur unempfindlichere, d.h. flexiblere Lösung zu wählen oder die Informationsausgaben zu erhöhen. Die Analyse konzentriert sich auf die dem Planungszeitpunkt unmittelbar folgenden Planperioden, da der Einfluß einer Entscheidung auf das künftige Entscheidungsfeld mit zunehmendem zeitlichen Abstand vom Planungsursprung abnimmt.

Beim nicht ganzzahligen Programmieren liefern die Schattenpreise in begrenztem Umfang Aufschlüsse über die Auswirkungen von Restriktionsänderungen. Allerdings fehlt diese Möglichkeit, wenn Ganzzahligkeitsbedingungen beachtet werden müssen. Das parametrische Programmieren ist ebenfalls nur dann anwendbar, wenn Ganzzahligkeitsbedingungen im Modell fehlen. Hingegen liefert das hier verwendete Verfahren der dynamischen Programmierung auf der Basis der für jede Stufe - mit Ausnahme der ersten - durchgerechneten Kombinationsbereiche der Zustandsparameter wertvolle Anhaltspunkte zur Beurteilung der Auswirkungen, die durch Änderungen des Produktions- und Investitionsprogramms auf den Vorstufen bewirkt werden, vorausgesetzt, daß die antizipierten Revisionen keine wesentliche Verschiebung der Erwartungsstruktur bezüglich der Folgeperioden induzieren. Wird die Variation der Erwartungsstruktur auf die erste Planungsperiode begrenzt und erscheint es gerechtfertigt, alle sonstigen Übergangswahrscheinlichkeiten des stochastischen Prozesses unverändert zu lassen, dann erleichtert die dynamische Programmierung die Sensivitätsanalyse erheb-

lich, da man auf bereits berechnete Funktionswerte der übrigen Stufen zurückgreifen kann. Wird die Sensivitätsanalyse auf eine weitere Planungsperiode ausgedehnt, dann erfolgt eine Neuberechnung der Funktionale ausschließlich für diese Stufe, sofern der für die folgenden Perioden bereits berechnete Bereich suboptimaler Lösungen hinreichend gewählt ist. Werden Korrekturmöglichkeiten für mehrere Perioden berücksichtigt, erhöht sich naturgemäß die Zahl der nachzuberechnenden Lösungen.

4.3.5 Die Problematik der Modellprämissen

Der folgende Abschnitt widmet sich einigen Prämissen des vorgelegten Modells und den mit ihnen verbundenen Problemen.

4.3.5.1 Die Prämisse der begrenzten Unsicherheit

In dem vorliegenden Modell wurde unvollkommene Information nur für den Bereich der Absatzdaten angenommen. Die Realitätsbezogenheit des Modells kann durch die explizite Berücksichtigung der Unsicherheit weiterer Daten, etwa von Beschaffungs- oder Finanzierungsdaten, erhöht werden. Die mit der Einbeziehung aller Unsicherheitskomponenten verbundenen Schwierigkeiten hinsichtlich der Lösbarkeit werden oft weder auf theoretischer noch auf praktischer Ebene in einem annehmbaren Verhältnis zu der zu erwartenden zusätzlichen Erkenntnis bzw. dem Zusatznutzen der Planverbesserung stehen.

Die Zunahme zufälliger Veränderlicher kann, zumindest für die obige Modellformulierung, schnell zu einer Zahl von Kombinationsmöglichkeiten führen, die die Grenzen der

Rechenbarkeit überschreitet.[1] Die praktische Ausrichtung des Investitionsmodells kann daher nur in begrenztem Maße die Unsicherheit in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen einbeziehen. Der Kompromiß zwischen Vollständigkeit und Praktikabilität wird dazu führen, nur bei jenen Daten alternative Eintrittsmöglichkeiten zu berücksichtigen, bei denen die für möglich gehaltenen Wertabweichungen zu nicht vernachlässigbaren Auswirkungen auf die Ertragslage des Unternehmens führen und der Unsicherheitsspielraum nicht vernachlässigbare Wahrscheinlichkeiten für derartige Wertabweichungen enthält. Andernfalls werden mittels vorsichtiger Wichtungen einwertige Datenschätzungen vorzunehmen sein. Selbst unter der einschränkenden Bedingung der Operationalität erleidet die Bedeutung des Grundprinzips der flexiblen Investitionsplanung keine Einbuße. Notfalls kann durch Modifikation der Finanzierungsbedingungen sichergestellt werden, daß jederzeit eine bestimmte liquide Mindestreserve aufrechterhalten wird, um so dem Mangel einer expliziten Berücksichtigung einzelner Ungewißheitskomponenten auszugleichen. Ähnliches gilt für andere Finanzierungsquellen, wenn der Programmansatz in dieser Hinsicht erweitert wird. Liquiditätsreserve und Finanzierungsspielraum dienen dann der globalen Abdeckung der aus den möglichen, noch nicht spezifizierten Anpassungsmaßnahmen in der Zukunft resultierenden Ausgabenspitzen. Neben den Streuungen der nicht explizit berücksichtigten Wahrscheinlichkeitsverteilungen hängt das Ausmaß des zusätz-

---

1) Die Zahl der zufälligen Ereignisse hängt entscheidend von der Korrelation der zufälligen Veränderlichen ab. Je stärker die Korrelationsbeziehungen sind, um so niedriger ist die Anzahl der zufälligen Ereignisse. Sind z.B. die maximalen Absatzmengen M_1 und M_2 der Produkte 1 und 2 zufällige Veränderliche, die die Werte M_{11} und M_{12} bzw. M_{21} und M_{22} annehmen können ($M_{11} > M_{12}$, $M_{21} > M_{22}$), dann können im Falle völliger Unabhängigkeit der zufälligen Veränderlichen M_1 und M_2 (Korrelationskoeffizient $\varrho = 0$) die zufälligen Ereignisse $\{M_{11}, M_{21}\}$, $\{M_{11}, M_{21}\}$, $\{M_{12}, M_{21}\}$, $\{M_{12}, M_{22}\}$ eintreten, im Falle vollständiger negativer Korrelation (Korrelationskoeffizient $\varrho = 1$) lediglich die zufälligen Ereignisse $\{M_{11}, M_{22}\}$ und $\{M_{12}, M_{21}\}$.

lichen Elastizitätspotentials im wesentlichen von der Risikopräferenz des Entscheidenden ab. Entsprechende Überlegungen wären bei der Vorauswahl der Investitionsobjekte anzustellen. Es können z.B. für bestimmte Objektgruppen Mindestanforderungen hinsichtlich der qualitativen Elastizität aufgestellt werden. Objekte, welche diesen Anforderungen nicht genügen, kommen als Investitionsalternativen nicht in Betracht.

Die bisherigen Ausführungen implizierten, daß bei der Formulierung des Entscheidungsmodells auf subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen zurückgegriffen werden kann. Es stellt sich die Frage, ob für die Datengruppen, für die keine Wahrscheinlichkeitsverteilungen entwickelt werden können, noch Aussagen mit Hilfe des vorgelegten Modells möglich sind. Voraussetzung für eine Verarbeitung objektiv unsicherer Größen in einem Modell zur Investitionsplanung ist die Existenz eines Minimums an Informationen.[1)]

- Hinsichtlich der objektiv unsicheren Komponenten der relevanten Umweltzustände muß ein für möglich gehaltener Realisierungsbereich abgegrenzt werden können.
- Dem Entscheidenden müssen die verfügbaren Aktionen bekannt sein.
- Jeder Kombination aus Aktion und Umweltzustand muß ein eindeutiges Ergebnis zugeordnet werden können.

Zunächst resultiert aus der Existenz objektiver Unsicherheit ein die zeitliche Ausdehnung der Planung reduzierender Einfluß. Die Unsicherheit über die entscheidenden Daten der Planung nimmt i.a. mit der zeitlichen Entfernung der betreffenden Perioden vom Planungsursprung zu. Je stärker

---

1) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung ..., a.a.O., S. 168.

dieses Unsicherheitsgefälle ist, um so schwieriger wird die Beurteilung der Auswirkungen unmittelbar bevorstehender Entscheidungen auf den Aktionsraum und damit der Erfolg künftiger Perioden. Es besteht daher die Tendenz, den Planungshorizont zeitlich vorzuverlegen.[1] Dabei kann es sich als notwendig erweisen, den wegen der objektiven Unsicherheit nicht im einzelnen berücksichtigten Interdependenzen durch globale Anforderungen an das Sicherheitsniveau der Planung Rechnung zu tragen (z.B. Gewährleistung liquider Mindestreserven oder Nichtberücksichtigung der Anschaffung von Spezialaggregaten als Aktionskomponenten in denjenigen Produktionsbereichen, die besonders von der mangelnden Voraussicht hinsichtlich der relevanten Marktbedingungen betroffen sind).[2] Besteht innerhalb des Planungszeitraums objektive Unsicherheit über einzelne Daten, aus denen sich die möglichen Zustände der Umwelt konstituieren, so liegt das ausschlaggebende Problem darin, eine geeignete Präferenzordnung über den Aktionsraum zu definieren. Da es keine rationale Auswahlvorschrift für die Verwendung von Entscheidungsregeln bei objektiver Unsicherheit gibt, ist man lediglich auf Plausibilitätsüberlegungen angewiesen. Besteht keine Veranlassung anzunehmen, daß die Umwelt dem Unternehmen feindlich gesinnt ist (Neutralität der Umwelt), dann könnte sich als Entscheidungsregel das La-Place-Kriterium Verwendung finden. Eine andere, extremere Situation läßt die Verwendung des Minimaxkriteriums plausibel erscheinen, nämlich dann, wenn auf Grund zusätzlicher Informationen die Umwelt sich als rationaler Gegenspieler identifiziert. Das La-Place-Kriterium läßt sich ohne Schwierigkeiten in das mehrstufige Entscheidungsmodell einbauen. Der mögliche Realisierungsbereich der objektiv unsicheren Daten wird zu diesem Zweck durch eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung mit identi-

---

1) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung ..., a.a.O., S. 197.

2) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung ..., a.a.O., S. 197.

schen Eintreffwahrscheinlichkeiten abgebildet.

Das Minimaxkriterium läßt sich ebenfalls ohne Schwierigkeiten in das von uns vorgelegte flexible Planungsmodell einbauen. Um dies zu erreichen, müssen die linearen Programmansätze auf den einzelnen Stufen modifiziert werden.[1] Liegen z.B. für die in der letzten Planperiode für möglich erachteten Absatzsituationen keine Wahrscheinlichkeitsaussagen vor und wird als Entscheidungsregel das Minimaxkriterium gewählt, dann ist das in Kapitel 4.3.2 vorgetragene Programm wie folgt zu ändern. Die Zielfunktion (4.3.2.1.1) ist durch die Funktion

$$(4.3.5.1.1)\quad L^{j_{m-1}} \longrightarrow \max$$

zu ersetzen. Neben den Restriktionen (4.3.2.2.1) - (4.3.2.6.1) sind zusätzlich die Nebenbedingungen

$$(4.3.5.1.2)\quad L^{j_{m-1}} \leq G^{j_m}(z_m^{j_{m-1}}, Pr^{j_m}) \quad \text{für alle} \quad j_m \in I_{j_{m-1}}$$

zu beachten. Dabei symbolisiert $G^{j_m}(z_m^{j_{m-1}}, Pr^{j_m})$ den Einzahlungsüberschuß in der letzten Periode und bei Eintritt der Absatzsituation j_m in Abhängigkeit von der gewählten Konstellation der Aktionsparameter und der Struktur der Zustandsparameter zu Beginn der letzten Periode. Sei $\bar{L}^{j_{m-1}}$ eine optimale Lösung dieses Programms, dann muß zum Zwecke der Ermittlung einer nicht dominierten Minimax-Handlungsalternative ein zweites lineares Programm gelöst werden:

$$(4.3.5.1.3)\quad \sum_{j_m \in I_{j_{m-1}}} G^{j_m}(z_m^{j_{m-1}}, Pr^{j_m}) \longrightarrow \max$$

---

1) Die folgenden Ausführungen basieren auf den von H. Hax angegebenen Programmformulierungen zur Erzeugung von Minimax-Handlungsalternativen. Vgl. Hax, Herbert, Die Koordination von Entscheidungen, Köln-Berlin-Bonn-München, S. 229-231.

unter Beachtung der Nebenbedingungen (4.3.2.2.1)-(4.3.2.6.1) sowie

$$(4.3.5.1.4)\quad \bar{L}^{j_{m-1}} \leq G^{j_m}(z_m^{j_{m-1}}, Pr^{j_m}) \quad \text{für alle } j_m \in I_{j_{m-1}}.$$

Für alle Subgraphen der letzten Periode und alle in Erwägung gezogenen Ausgangskonstellationen der Zustandsparameter sind jeweils zwei Programmansätze der geschilderten Form zu lösen. Die rekursive Verknüpfung der Entscheidungen aufeinanderfolgender Stufen ist auf ähnliche Weise zu erreichen, wie dies für das Erwartungswertkriterium gezeigt wurde.[1)]
Dieses Verfahren ist auch dann anwendbar, wenn nur für einen Teil des Planungszeitraums subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorliegen. Eine entsprechende Modifikation der Rekursionsbeziehungen gestattet es, einen Übergang vom Erwartungswert- zum Minimaxkriterium während des Planungszeitraums zu berücksichtigen.
Das Handeln nach dem Minimaxkriterium favorisiert in besonderem Maße flexible Investitions- und Finanzierungsentscheidungen, da mit ihrer Hilfe eine Dämpfung der Streuung der Zielwerte erreicht wird.
Ähnliche Programmerweiterungen, wie sie für das Minimaxkriterium aufgezeigt wurden, lassen sich auch für andere Entscheidungsregeln wie z.B. das Hurwicz- oder Savage-Kriterium angeben,[2)] ohne daß die Struktur des flexiblen Planungsmodells dadurch berührt wird. Auf eine Wiedergabe wird hier verzichtet.

Auch bei objektiver Unsicherheit kann aus Gründen der Operationalität eine Reduktion des für möglich erachteten Realisierungsbereichs einzelner Komponenten der Umwelt auf einen einzigen Wert angebracht sein. Eine diese Vernachlässigung kompensierende Erhöhung der Elastizitätsanforderungen im Real- und/oder Finanzierungsbereich mag sich da-

---

1) Vgl. Kapitel 4.3.3.

2) Vgl. Hax, Herbert, Die Koordination ..., a.a.O., S. 231-243.

bei als notwendig erweisen. Ungeachtet der Form, in der sich die Ungewißheit in der Planung niederschlägt, mit zunehmender Unsicherheit der Daten wächst das Bedürfnis, den künftigen Handlungsspielraum zu erweitern, wächst der Vorteil der Anpassungsbereitschaft des Unternehmens.

4.3.5.2 Die Prämissen bezüglich der Investitionsobjekte und Finanzierungsmittel

Im Modell wurde hinsichtlich der Investitionsalternativen unterstellt:

- Die Leistungsfähigkeit der Anlagen ist unabhängig von ihrem Alter bzw. ihrer Nutzungsdauer.
- Das gleiche gilt für die Höhe der direkt zurechenbaren Ausgaben.
- Durch die Außerbetriebnahme eines Investitionsobjekts werden keine Nettoein- oder -auszahlungen induziert.

Die Annahmen galten der Vereinfachung. Vernachlässigungen in dieser Richtung berühren nicht das Prinzip der flexiblen Planung. Es ist klar, daß unter diesen Voraussetzungen das Problem der optimalen Nutzungsdauer weitgehend ausgespart wird. Theoretisch ließe sich auch diese Lücke durch entsprechende Änderungen bei den Zustands- und Steuervariablen[1] schließen. Die Verringerung des Abstraktionsgrades, die den empirischen Gegebenheiten entgegenkommen mag, kann sich allerdings aus dem Blickwinkel der praktischen Anwendung des Planungsmodells als nicht zweckmäßig erweisen.

---

1) Steuervariable im Rahmen der dynamischen Programmierung sind die unabhangigen Variablen der Optimierungsprobleme, die sich für die einzelnen Stufen des Programms ergeben und durch die Funktionalgleichungen beschrieben werden. Steuervariable unseres in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Modells sind die Aktionsvariablen der linearen Programme, die für alle Perioden und alle in Erwägung gezogenen Absatzmarktkonstellationen zu formulieren sind.

Selbst wenn man unterstellt, daß das Problem der Datenbeschaffung zu diesem Komplex befriedigend gelöst werden kann, so bleiben doch schwerwiegende Bedenken gegen eine generelle Modellerweiterung. Da die Anzahl der Zustandsparameter zunimmt, verschlechtern sich die Voraussetzungen für die Rechenbarkeit weiter; der Abstraktionsgrad des Modells muß an anderer Stelle erhöht werden. Es stellt sich daher die Frage, ob sich hinsichtlich der Planung der unmittelbar bevorstehenden Entscheidungen eine fühlbare Verbesserung erreichen läßt, wenn die Auswahl des in die Planung eingehenden Ausschnitts der Realität wie angedeutet modifiziert wird. Dabei wird die Fühlbarkeit einer Planungsverbesserung entscheidned vom Grad der Unsicherheit abhängen. Es wird i.a. notwendig sein, Voruntersuchungen durchzuführen, in denen die Erheblichkeit der die Nutzungsdauer beeinflussenden Faktoren zu beurteilen ist. Die Angaben über den Schwankungsbereich der periodenfixen Ausgaben während der Nutzungszeit, zur ökonomischen Relevanz von Großreparaturen, über die nutzungsbedingten Schwankungen der Aggregatleistungen sowie über die voraussichtliche Entwicklung der Wiederveräußerungserlöse sind Anhaltspunkte.[1)] Bei einer Reihe von Aggregaten mag sich ergeben, daß keine nutzungsdauerbedingten Schwankungen festzustellen sind bzw. daß derartige Abhängigkeiten vernachlässigt oder mittels Durchschnittsbildung aufgefangen werden können. Für andere Anlagen wird der Nutzungsdauereinfluß eine nicht vernachlässigbare Größenordnung erreichen. Im Einzelfall ist jeweils durch Vorentscheidung zu bestimmen, welche Einflußgrößen im Modell angesprochen und wie gegebenenfalls vernachlässigte Komponenten durch pauschale Wertansätze indirekt einbezogen werden sollen.

---

1) Es darf nicht übersehen werden, daß die Unsicherheit sowie mannigfache Ursachenverknüpfungen, z.B. beim natürlich und technisch bedingten Verschleiß, die Beschaffung von Daten erschwert, so daß oft nur grobe Schätzungen möglich sind.

Die die Modellformulierung vereinfachende Prämisse fehlender Außenfinanzierung reduziert die flexible Planung im Finanzbereich auf die Bildung von Liquiditätsreserven. Durch die Aufnahme zusätzlicher Finanzierungsquellen wird zwar die Anzahl der Variablen und Nebenbedingungen erhöht, die Struktur des Ansatzes ändert sich jedoch nicht. Das Prinzip der flexiblen Planung, Entscheidungen auf der Grundlage der möglichen Zustandsabfolgen der Umwelt und unter Einbeziehung der sich jeweils bietenden Anpassungsalternativen zu bewerten, gilt für Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen gleichermaßen. Eine Modellerweiterung in dieser Richtung hat der quantitativen Erfassung der Mobilitätsinterdependenzen im Finanzsektor besondere Aufmerksamkeit zu widmen. So ist z.B. die Abhängigkeit des Kreditspielraums von der Kapitalstruktur bzw. von den für Sicherheitszwecke zur Verfügung stehenden Vermögenspositionen oder der Zusammenhang zwischen Eigenfinanzierungspotential und Dividendenpolitik in geeigneten Nebenbedingungen festzuhalten.[1)]

4.3.5.3 Die Prämisse der lagerlosen Produktion

Es erscheint im Rahmen einer langfristigen Planung gerechtfertigt, auf die Einbeziehung der betrieblichen Lagerhaltungspolitik in den Programmansatz zu verzichten. Die Lagerplanung ist, soweit sie die Bestände betrifft, von untergeordneter Bedeutung. Man kann bei der Planung von Investitionen i.a. davon ausgehen, daß die zwischenzeitliche Finanzierung der Lagerhaltung gesichert ist. Der Teil der Lagerbestände, der langfristig zu finanzieren ist, wird wegen des Umfangs der gebundenen Mittel bei der Formulierung des finanziellen Gleichgewichts dann zu berücksichtigen sein,

---

1) Vgl. z.B. die finanziellen Restriktionen bei Jääskeläinen, Veikko, a.a.O., S. 68-75.

wenn eingreifende Veränderungen nach oben oder unten zu erwarten sind. Lassen sich aus den zur Verfügung stehenden Informationen beachtenswerte Schwankungen des periodendurchschnittlichen Lagerbestandes nicht antizipieren, erübrigt sich die Programmerweiterung in dieser Richtung. Ähnliche Überlegungen gelten auch für die Investitionsobjekte des Lagerbereichs (Lagerhallen, Transportmittel etc.). Gegebenenfalls ist daher der Lagerbereich durch Variable und Restriktionen im Investitionsprogramm vertreten.

4.3.5.4 Die langfristige Produktionsgestaltung als Element der flexiblen Investitionsplanung

Das von uns vorgelegte Modell der flexiblen Investitionsplanung strebt eine simultane Ermittlung sowohl der optimalen Investitions- und Finanzierungsentscheidungen als auch des optimalen langfristigen Produktionsprogramms an und zwar für alle Perioden und alle möglichen Absatzkonstellationen des Planungszeitraums. Für diesen simultanen Ansatz spricht das mit den Methoden der isolierten Investitionsplanung nicht zu lösende Problem der ursachengerechten Zurechnung der Zahlungsströme. Bei der Einbeziehung der langfristigen Produktionsplanung in das Investitionsmodell wird das Zuteilungsproblem nicht als gelöst unterstellt, es wird vielmehr für die Optimierung nicht mehr relevant, da die Interdependenzen zwischen den einzelnen Investitionsobjekten sich in denjenigen Komponenten der Zielfunktion und denjenigen Nebenbedingungen niederschlagen, die die Produktion betreffen. Eine objektindividuelle Zurechnung von Ein- und Auszahlungsströmen, wie sie in den meisten herkömmlichen Modellen vorausgesetzt wird, ist nur in solchen Fällen gerechtfertigt, in denen ein ursächlicher Zusammenhang nachweisbar ist, z.B. bei einer Reihe von Auszahlungsarten und bei einstufiger Produktion im Einproduktfall hinsichtlich der Einzahlungen. Das gleiche gilt im Mehrproduktfall, wenn für bestimmte Produkte ausschließlich Spezialaggregate Verwendung finden.

Einer theoretischen Verbesserung des Modellansatzes durch die Erweiterung des Planungsbereiches auf die simultane Erfassung der langfristigen Produktionsgestaltung stehen im Hinblick auf die praktische Durchführung erhöhte Schwierigkeiten bei der Berechnung von Lösungsvorschlägen und bei der Datenbeschaffung gegenüber. Der Vorteil der abnehmenden Abstraktion wird durch zunehmende Unhandlichkeit der Programme bezahlt. Ein Ausweg aus diesem Dilemma kann in zwei Richtungen angestrebt werden, durch die Reduzierung der empirisch relevanten Parameter im Produktionsbereich sowie Vereinfachung ökonomischer Zusammenhänge durch entsprechende Prämissen bei der Formulierung des Entscheidungsmodells und durch die Konstruktion von Partialmodellen,[1] die lediglich einen bestimmten Betriebsbereich umfassen. Im Vorfeld der Planung ist der Kreis jener Sachverhalte abzustecken, auf die ohne wesentliche Einbuße an Aussagekraft bei der quantitativen Konzeption des Planungsmodells nicht verzichtet werden kann. Die Unterstellung linearer Kostenverläufe, der Verzicht auf Einbeziehung von produktionstechnischen Umstellungsmaßnahmen, falls die induzierten Auszahlungen ein bestimmtes Niveau nicht überschreiten, die Ausklammerung von Subproblemen, wie etwa der Losgrößen- und der Fertigungsablaufplanung, deren explizite Lösung der Detailplanung überlassen wird, sind Beispiele aus dem Katalog notwendiger Vernachlässigungen bei der Vorbereitung von Investitionsentscheidungen. Außerdem können Produkte, denen im Rahmen des Produktionsprogramms ein geringes Gewicht zukommt, gegebenenfalls unberücksichtigt bleiben.

Die Modellprämisse der einstufigen Produktion ist selbstverständlich nicht praxisnah. Der Fertigungsprozeß wird

---

1) Zur Frage der Bewertung im Rahmen von Partialmodellen vgl. Hax, Herbert, Bewertungsprobleme ..., a.a.O.

sich in der Regel über mehr als eine Stufe erstrecken. Für die Formulierung eines Modellansatzes und grundsätzlich auch für dessen Lösbarkeit bereitet die Einbeziehung mehrerer Produktionsstufen theoretisch keine Schwierigkeiten.[1] Konsequenzen ergeben sich jedoch auch an dieser Stelle im Hinblick auf die Operationalität eines derartigen Totalmodells. Es erscheint hoffnungslos, bei der Investitionsplanung eines gut sortierten Mehrproduktunternehmens das gesamte Produktionsprogramm für alle Produktionsstufen und alle Planungsperioden unter Beachtung aller für möglich erachteten Absatzmarktkonstellationen in einem Zuge ermitteln zu wollen. Auch hier muß eine langfristige Planung auf Genauigkeit zugunsten der Praktikabilität verzichten und die exaktere Durchgestaltung der Produktion der Detailplanung überlassen. Wie kann aber nun die Anzahl der Aktionsparameter niedrig gehalten werden, ohne daß eines der Fundamente der flexiblen Planung, die produktiven Eigenschaften der Investitionsanlagen, seiner Bedeutung entkleidet wird? Zunächst sind zu diesem Zweck alle Arbeitsgänge an einem Produkt, die auf dem gleichen Aggregat verrichtet werden können, zusammenzufassen, soweit für derartige Aufgabengruppen aus technischen Gründen oder auf Grund ökonomischer Vorentscheidungen nur Mehrzweckanlagen einer bestimmten Ausprägung in Frage kommen. Eine mögliche Aufteilung von Teilproduktionsabläufen auf verschiedene Mehrzweckaggregate wird außer acht gelassen. In ähnlicher Weise werden Spezialaggregate, die produktionstechnisch starr hintereinandergeschaltet sind, zu einer Produktionsstufe zusammengefaßt, soweit von der technischen Entwicklung her mit keiner nennenswerten Erweiterung des Elastizitätsspielraums auf diesem Gebiete zu rechnen ist. Aufgabe der Planungsvorbereitung ist es, das langfristige Produktionsprogramm so weit zu vereinfachen, daß eine Durchrechnung im Rah-

---

1) Zur Investitionsplanung bei mehrstufiger Produktion vgl. Albach, Horst, Investitionsentscheidungen in Mehrproduktunternehmungen, a.a.O., S. 37-46; Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., S. 551-565.

men der bestehenden Rechenkapazitäten in annehmbarer Zeit durchführbar wird, bei möglichst weitgehender Aufrechterhaltung der strukturellen Eigenheiten der flexiblen Planung. Von der konkreten betrieblichen Situation wird es abhängen, welche Produktionsstufen sinnvoll zusammengefaßt werden können, ohne für eine langfristige Planung wesentliche Interdependenzen zu vernachlässigen. Trotz möglicher Vereinfachungen in dieser Richtung kann es sich als unumgänglich erweisen, auf eine globale Investitions- und Finanzplanung zu verzichten, um dagegen für verschiedene Unternehmensbereiche oder Produktgruppen partiell zu planen. Eine gegenseitige Abstimmung der Bereichsplanungen im Hinblick auf eine möglichst gute Erfüllung des Unternehmenszieles ist Aufgabe einer alle Sektoren übergreifenden Sensivitätsanalyse.

4.3.5.5 Zur Frage der Einbeziehung von Informationsausgaben in das Modell

Im dargestellten Modell wurde das Informationsproblem als gelöst unterstellt. Die Einbeziehung von Informationsausgaben führt zu schwerwiegenden Implikationen. Es müssen hinreichende Vorstellungen über den Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Informationsausgaben einerseits und der Verbesserung des Informationsstandes und der daraus abgeleiteten Wahrscheinlichkeitsurteile andererseits existieren.

Für die planende Ausnutzung der Mobilität unvollständiger Objektentscheidungen[1] gewinnt die endogene, d.h. durch unternehmerische Maßnahmen ausgelöste Variation des Informationsstandes besonderes Interesse; der Zeitpunkt des Über-

1) Zum Komplex der unvollständigen Objektentscheidungen vgl. oben S. 15 ff.

ganges zur endgültigen Festlegung der Entscheidung wird von den zur Verfügung stehenden Informationen abhängen. Unter simultaner Abwägung der Mobilitäts- und Informationsvorteile auf der einen und der Informations- und Mobilitätskosten auf der anderen Seite wäre die zeitlich optimale Abfolge der Teilentscheidungen festzulegen.

Ein einfaches Beispiel diskontinuierlicher Informationsverbesserung soll die Möglichkeit einer formalen Fixierung im Modell andeuten. Es wird dabei der hypothetische Fall herausgehoben, daß nur solche Verbesserungen des Informationsstandes durchführbar sind, die eine ganzperiodige Verschiebung des Informationsniveaus in der Zeit gegenüber dem Status quo zur Folge haben. Es wird unterstellt, daß ein bestimmter Betrag, der zu Anfang einer jeden Periode zusätzlich für die Informationsgewinnung ausgegeben wird, das Wissen um die auslösenden Bedingungen der künftigen Entwicklung auf den Absatzmärkten soweit verbessert, daß das erzielte Informationsniveau demjenigen entspricht, welches ohne Erhöhung des Informationsaufwandes erst zu Anfang der folgenden Periode erreicht würde. Eine endogene Variation des Informationsstandes z.B. zu Beginn der Planperiode führt unter diesen Bedingungen zu einer Reduktion des in Abbildung 7 dargestellten Graphen,[1)] der die Erwartungsstruktur des Entscheidungsträgers beschreibt. Es sind alle Teilbäume zu eliminieren, die von Marktkonstellationen der ersten Periode ausgehen, welche sich auf Grund der zusätzlichen Informationen als unmögliche Ereignisse erwiesen haben. Für die letzte Periode ergibt sich dann folgende Abänderung der Programmformulierung. Für jede in Frage kommende Absatzmarktsituation und jede mögliche Ausgangskonstellation der Zustandsparameter (Investitionsobjekte und Finanzierungsmittel) wird ein deterministischer Programmansatz gelöst, der die Informationsausgaben enthält, welche die

---

1) Vgl. S. 99 dieser Arbeit.

angenommene Niveauverschiebung ermöglichen. Für jeden Subgraphen und jede Ausgangskonstellation der Zustandsparameter wird nun auf Grund der Einzelergebnisse und der vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen die mathematische Erwartung der Einzahlungsüberschüsse gebildet. Ein Vergleich mit dem optimalen Investitionsprogramm ohne eine Informationsniveauverschiebung zeigt, welche Alternative die jeweils bessere ist. Die Vergleichsrechnung wird in der gleichen Weise fortgesetzt, in der auch das ursprüngliche Investitionsprogramm über alle Stufen nach dem Verfahren des dynamischen Programmierens entwickelt wurde. Durch die Einführung von Informationsausgaben erhöht sich schon in diesem sehr einfachen Beispiel der Rechenaufwand wesentlich. Zum anderen bestehen zwischen Informationsniveau und Informationsausgaben nicht jene eindeutigen Beziehungen, die dem Beispiel unterlegt wurden. Die Zusammenhänge zwischen der Höhe der Informationsausgaben und der Erwartungsstruktur werden sich bei gegebener Organisation des Informationswesens, wenn überhaupt, wiederum nur mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsaussagen darstellen lassen.

Das obige Beispiel sollte andeuten, daß es zumindest in einfachen Fällen möglich ist, die unternehmensendogene Variation des Informationsniveaus in das Modell einzubauen.[1] Solange allerdings abgeschätzt werden kann, daß eine Veränderung des Informationsniveaus - gemessen an der für eine Investitionsplanung sinnvollen Periodenlänge - nur in relativ geringfügigem Maße möglich ist, erübrigt sich die formale Berücksichtigung von Informationsausgaben von vornherein. Das schließt nicht aus, daß im Instrumentalbereich der Feinplanung derartige Überlegungen eine beachtenswerte Rolle spielen können.

---

1) Z.B. dann, wenn lediglich für die erste Planperiode eine Variation der Informationsausgaben berücksichtigt werden soll.

4.3.5.6 Die Zielprämisse

Das flexible Planungsmodell geht vereinfachend von einer zeitlich begrenzten Unternehmung aus, deren Zielsetzung die Maximierung der mathematischen Erwartung des geldwerten Vermögens im Liquidationszeitpunkt ist. In der Realität ist bei der überwiegenden Zahl der Unternehmen ein Liquidationszeitpunkt nicht geplant. Da der Planungszeitraum jedoch begrenzt ist, muß die mathematische Formulierung des Programms, will sie den Auswirkungen geplanter Entscheidungen über den Planungshorizont hinaus Rechnung tragen, modifiziert werden. In der Literatur werden zur Bewältigung dieses Problems unterschiedliche Wege eingeschlagen. Jacob verrechnet z.B. in seinem Modellansatz nur die anteiligen, auf den Planungszeitraum entfallenden Anschaffungskosten der Aggregate.[1] Es wird allerdings nicht deutlich, nach welchen Gesichtspunkten bei der Aufteilung zu verfahren ist. Des weiteren ist mit einer "periodengerechten" Verteilung der Auszahlungen noch nicht das Problem gelöst, wie die über den Planungszeitraum hinausreichenden Einzahlungen behandelt werden sollen. Ein anderes, theoretisch befriedigenderes Verfahren wird von H. Hax vorgeschlagen.[2] Die objektindividuellen Zahlungsströme, die außerhalb des Planungszeitraums liegen, werden auf den Planungshorizont abdiskontiert und in der Zielfunktion berücksichtigt. Für die Planung unter Ungewißheit ergeben sich neben dem Problem der ursachengerechten Zurechnung und der Wahl des Kalkulationszinsfußes Schwierigkeiten im Hinblick auf die geldliche Bewertung der explizit nicht erfaßten Auswirkungen, zumal anzunehmen ist, daß die über den Planungshorizont hinausgehenden Schätzungen mit zunehmender Unsicherheit belastet sind.

---

1) Vgl. Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., a.a.O., S. 553-554.

2) Vgl. Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung ..., a.a.O., S. 437-438.

Ein völlig anderes Vorgehen bestände darin, auf eine geldliche Bewertung der Fernwirkungen geplanter Entscheidungen ganz zu verzichten und statt dessen für die letzte, bei der Planung noch zu berücksichtigende Periode technische und finanzielle Mindestbedingungen zu formulieren, die u.a. die Erwartungen über das Unternehmenswachstum und über die langfristig erreichbare und erwünschte Vermögensstruktur beinhalten. Dabei kommt der Aufrechterhaltung eines bestimmten Elastizitätsniveaus besondere Bedeutung zu. Die Nebenbedingungen sind je nach der potentiellen Entwicklung der zufälligen Veränderlichen zu differenzieren. Das beschriebene Verfahren führt zu einer Modifikation der Vermögensendwertmaximierung. Zu maximieren ist der Erwartungswert des Einzahlungsüberschusses der letzten, bei der Planung noch berücksichtigten Periode unter Aufrechterhaltung einer bestimmten Vermögensstruktur. Unabhängig davon, ob dieses Ziel als sinnvoll angesehen wird, kann es in jenen Fällen als grobe Approximation der Vermögensendwertmaximierung angesehen werden, in denen wegen der erwähnten Schwierigkeiten eine Bewertung der nicht explizit erfaßten Zahlungsströme nicht durchführbar ist. Angestrebt wird eine langfristig "gute" Erfüllung der originären Zielsetzung. Eine weit bessere Adäquanz ist dann zu erwarten, wenn das originäre Ziel darin besteht, einen gleichbleibenden Entnahmestrom während des Planungszeitraums unter Aufrechterhaltung eines Mindestvermögens am Ende dieses Intervalls zu maximieren.[1)]

Da die Investitionsplanung Entscheidungsvorschläge lediglich für die erste Periode des Planungszeitraums unterbreiten soll, Planrevisionen in künftigen Perioden anläßlich der Korrektur der Erwartungen und der Verlagerung des Planungshorizonts in der Regel erforderlich sein werden, ist unbeschadet, welche Zielformel zugrunde gelegt wird, die Frage

1) Vgl. zu dieser Zielsetzung Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung ..., a.a.O., S. 436-437; Schneider, Dieter, Ausschüttungsfähiger Gewinn und das Minimum an Selbstfinanzierung, in ZfbF, N.F. 20. Jg. (1968), S. 1-29, hier S. 4.

aufzuwerfen, inwieweit sich überhaupt eine unterschiedliche Bewertung der im Modell nicht mehr erfaßten Zahlungsströme auf die Wahl der Aktionen für die unmittelbar bevorstehende Periode auswirken. Es ist damit zu rechnen, daß mit zunehmender Länge des Planungszeitraums die Empfindlichkeit des Programms in dieser Hinsicht abnimmt. Es empfiehlt sich daher angesichts des weitgespannten Planungszeitraums der Investitionspolitik und der mangelnden Verläßlichkeit der Erwartungen, die das Ende dieses Zeitraums betreffen, keine zu hohen Anforderungen an das Bewertungsverfahren zu stellen.[1)]

4.3.6 Abschließende Beurteilung des vorgelegten Programmierungsansatzes zur Planung von Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit

Die flexible Planung geht im Unterschied zur starren Planung davon aus, daß künftige Entscheidungen nicht von vornherein festgelegt zu werden brauchen, daß sie vielmehr auf den Informationsstand des Entscheidungszeitpunktes abgestimmt und daher mit Hilfe von Alternativplänen[2)] vorbereitet werden müssen. Wenn in der Zukunft Entscheidungen getroffen werden, ist bereits bekannt, welchen der in der Vergangenheit für möglich oder auch nicht für möglich gehaltenen Wege die Entwicklung in der Zwischenzeit genommen hat. Daß eine Planung, die Wirkungen gegenwärtiger Entscheidungen auf künftige Handlungsalternativen unter dem Aspekt des in der Zeit verbesserten Informationsstandes untersucht und dabei auf geeignete Lösungsmethoden zurückgreifen kann, zu besseren Ergebnissen führt als eine Planung, die auf eine Antizipation der Veränderung der Erwartungsstruktur in der Zeit verzichtet, wurde bereits be-

---

1) Vgl. auch Jacob, H., Neuere Entwicklungen ..., a.a.O., S. 554.

2) Das Ergebnis des vorgelegten Programmansatzes ist durch eine auf den zugrunde liegenden stochastischen Prozeß zugeschnittene Hierarchie von Alternativplänen gekennzeichnet.

gründet, dürfte aber auch intuitiv einleuchten. Gegen dieses von Hart entwickelte Prinzip und im Zusammenhang damit gegen das dynamische Programmieren erhebt Albach den Einwand, derartig komplizierte Methoden seien wegen mangelnder Wahrscheinlichkeitsaussagen über weit in der Zukunft liegende Perioden kaum durchführbar und es sei daher lediglich eine genügende Elastizität der unternehmerischen Planung zu fordern, um eine Determinierung der Handlungen auf die unmittelbare Zukunft begrenzen zu können.[1] Da die Elastizität einer Planung nicht allgemein meßbar ist, da Flexibilität von Entscheidungen erst aus dem Objektverhalten gegenüber für möglich erachteten Anforderungen abgeleitet werden kann, wird man bei der Bestimmung der genügenden Planungselastizität im Sinne Albachs ohnehin auf entsprechende quantitative Überlegungen zurückgreifen müssen. Der Nutzen,der sich für praktische Planungsaufgaben aus der theoretischen Analyse zur Struktur der flexiblen Planung ergibt, wird durch die Kritik Albachs nicht berührt. Dem Mangel an Voraussicht kann möglicherweise durch die Verkürzung des Planungszeitraums Rechnung getragen werden. Darüber hinaus übersieht Albach, daß das von Hart vorgelegte

---

1) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftslichkeitsrechnung ..., a.a.O., S. 147-148. Die Ansicht Albachs, die im übrigen mit der von Hart übereinstimmt (Vgl. Hart, A.G., Anticipations ..., a.a.O., S. 84), daß über die Umweltzustände der letzten, bei der Planung noch berücksichtigten Perioden lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen höherer Ordnung vorliegen, d.h. daß die Wahrscheinlichkeitsaussagen selbst uneindeutig werden und daher eine Abfolge von Wahrscheinlichkeitsaussagen über Wahrscheinlichkeitsaussagen notwendig würde, widerspricht der induktiven Logik, da logisch entwickelte Wahrscheinlichkeitsaussagen nur logisch wahr oder nicht wahr sein können, ein Reflektieren über eigene Wahrscheinlichkeitsurteile scheitert am Mangel einer zweiten, vorher nicht zugänglichen Informationsschicht. Vgl. dazu Carnap, Rudolf, Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit, bearbeitet von Wolfgang Stegmüller, Wien 1959, S. 52. Fehlen hinreichende Informationen, dann fehlen auch subjektive Wahrscheinlichkeitsaussagen. Die angeführte Argumentation ist wohl nur für Glaubwürdigkeitsaussagen über hypothetische objektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen im Rahmen der statistischen Entscheidungstheorie haltbar.

Modell der flexiblen Planung und das von Bellman entwickelte dynamische Programmieren inhaltlich zwei verschiedenen Kategorien angehören. Während das Hartsche komparativ-statische Betriebsgrößenmodell für eine bestimmte Entscheidungssituation unter Unsicherheit Handlungsvorschriften angibt, handelt es sich bei der dynamischen Programmierung um ein mathematisches Verfahren zur Darstellung und Lösung der verschiedensten Probleme, die sich auf eine einheitliche Struktur zurückführen lassen. Das dem Hartschen Modell zugrunde liegende Entscheidungsprinzip liefert vielmehr, wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, ein gutes Anwendungsbeispiel für die dynamische Programmierung.

Die Modellannahme, daß die Erwartungsstruktur sich als allgemeiner stochastischer Prozeß darstellen läßt, kann so lange aufrechterhalten werden, wie gewährleistet ist, daß der Entscheidungsträger seine Wahrscheinlichkeitsurteile von den realisierten, im Modell berücksichtigten Umweltzuständen abhängig macht.[1] Selbst wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf den einzelnen Stufen voneinander unabhängig sind, empfiehlt sich eine flexible Planung. Um zu vermeiden, daß die sich aus den Entscheidungen der Vorperiode ergebenden Ausgangskonstellationen der Zustandsvariablen als stochastische Größen in die Nebenbedingungen des Modells eingehen, ist es auch in diesem Fall erforderlich, bei der Konstruktion des Planungsansatzes die Erwartungsstruktur als einen stochastischen Prozeß aufzufassen. Andernfalls würde bei der Beurteilung der Auswirkungen gegenwärtiger Entscheidungen auf den Handlungsspielraum künftiger Entscheidungen vernachlässigt, daß in den Folgeperioden

---

1) Liegen einem stochastischen Entscheidungsproblem homogene Markoffsche Ketten zugrunde, dann ergeben sich für das dynamische Programmieren Vereinfachungsmöglichkeiten. Vgl. Howard, Ronald A., Dynamische Programmierung und Markov-Prozesse. Deutsche Bearbeitung von Hans P. Künzi und Peter Kall, Zürich 1965. (Titel der englischen Fassung: Dynamic Programming and Markov Processes, New York-London 1960).

bereits Informationen über die zwischenzeitlich realisierte Entwicklung vorliegen.

Die mit dem zeitlichen Abstand vom Planungszeitpunkt zunehmende Prognoseunsicherheit kommt im stochastischen Prozeß durch die zunehmende Auffächerung der möglichen Umweltzustände zum Ausdruck. Liegen nur noch vage Vorstellungen bezüglich der bedingten Verteilungen vor oder sind keine subjektiven Wahrscheinlichkeitsurteile mehr möglich, so werden sich in der Regel doch Aussagen über den Variationsbereich der betreffenden Umweltdaten gewinnen lassen, eine Voraussetzung etwa für die Anwendung des La-Place-Kriteriums.

Gegenüber Optimierungsmodellen, die bisher für die Investitionsplanung unter Unsicherheit in Erwägung gezogen wurden, besteht der wesentliche Vorteil des hier beschriebenen Modells darin, daß es erlaubt, die in der Zukunft erwarteten Informationen bei der Wahl der optimalen Entscheidung zu verwerten. Sind z.B. die Nebenbedingungen einer Periode von den Ergebnissen der Vorperioden abhängig - wie etwa die Liquiditätsbedingung -, so werden keine stochastischen Nebenbedingungen erzeugt.

Die Anwendung der dynamischen Programmierung auf Entscheidungsprobleme, die sich als stochastische Prozesse darstellen, im vorliegenden Fall die Anwendung auf Investitionspläne unter unsicheren Erwartungen, hat verschiedene Vorteile. Zunächst ergibt sich ein ganz allgemeiner, problemadäquaten Entscheidungsmodellen eigener Vorteil. Die zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen werden im Hinblick auf die Konsequenzen, die sich für die Folgeentscheidungen ergeben, und auf der Grundlage der für möglich erachteten Entwicklungsverläufe der Umwelt bewertet. Insoweit sind sie den praktischen, mehr gefühlsmäßigen Entscheidungsregeln überlegen. Durch die Aufteilung eines m Stufen umfassenden Optimierungsproblems auf jeweils eine Stufe und einen

Subgraphen umfassende Teilprogramme werden darüber hinaus die bei adäquater Formulierung mit Hilfe eines alle m Stufen und alle möglichen Umweltkonstellationen gleichzeitig erfassenden linearen Programmansatzes[1] notwendigen Dimensionen stark reduziert.[2] Die Programmstruktur bleibt übersichtlich. Diese mit Hilfe der dynamischen Programmierung durchführbare Dekomposition des Problems erhöht außerdem die Chance, daß die auf den einzelnen Stufen zu lösenden Subprobleme mittels der bisher verfügbaren Methoden zur ganzzahligen Optimierung gelöst werden können, falls eine ganzzahlige Formulierung erforderlich erscheint.
Auf der anderen Seite führt aber eine größere Zahl von Zustandsparametern bei der Durchrechnung dynamischer Programme zu erheblichen Schwierigkeiten, da die Anzahl der zu berück-

---

1) Zur Anwendung des linearen Programmierens bei der flexiblen Planung von Investitionen vgl. Laux, Helmut, Flexible Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe der linearen Programmierung, in: ZfbF (in Vorbereitung).

2) Vgl. auch Hadley, G., a.a.O., S. 472. Sind in jeder Absatzsituation einer Periode z.B. 100 Variable und 20 Restriktionen zu berücksichtigen, und werden, ausgehend von einer beliebigen Absatzsituation, jeweils nur 3 Umweltzustände in der folgenden Periode für möglich gehalten, dann enthält ein 4 Perioden umfassendes lineares Programm bereits 12.000 Variable und 2.400 Restriktionen. Allerdings soll nicht übersehen werden, daß die Struktur eines linearen Programms zur flexiblen Planung von Investitionen der Anwendung von Dekompositionsalgorithmen zur linearen Programmierung, die eine Verringerung des Speicherbedarfs und der Rechenzeit ermöglichen, zugänglich ist. Vgl. zur Dekomposition linearer Programme vor allem Dantzig, George B. and Philip Wolfe, Decomposition Principle for Linear Programs, in: Operations Research, vol. 8 (1960), S. 101 - 111; dies., The Decomposition Algorithm for Linear Programming, in: Econometrica, vol. 29 (1961), S. 767-778; Dantzig, George B., Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin-Heidelberg-New York 1966 (ins Deutsche übertragen und bearbeitet von Arno Jaeger, Titel der amerikanischen Originalausgabe: Linear Programming and Extensions, Princeton, N.J., 1963), S. 507-515; Adam, Dietrich und Wolfgang Röhrs, Ein Algorithmus zur Dekomposition linearer Planungsprobleme, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 393-417.

sichtigenden Kombinationsmöglichkeiten rasch wächst. Bei 10 Zustandsparametern, die jeweils 5 Werte annehmen können, wären theoretisch für jeden Subgraphen in den Perioden 2 bis m 5^{10} suboptimale Lösungen zu ermitteln. Hinsichtlich der Planung von Investitionsentscheidungen kann jedoch angenommen werden, daß eine ganze Reihe von Zustandsparametern lediglich zweitwertig ist (Annahme, Ablehnung) und daß viele Kombinationsmöglichkeiten aus technischen oder ökonomischen Gründen von vornherein ausscheiden. Selbst für den Fall, daß aus den vorgenannten Gründen eine Verminderung der durchzuführenden Rechenoperationen erreicht werden kann, wird bei vielen praktischen Aufgabenstellungen die Menge der verbleibenden relevanten Kombinationen der Zustandsvariablen, für welche auf den einzelnen Stufen optimale Lösungen zu finden sind, noch so groß sein, daß der Versuch, eine flexible Investitionsplanung für m Perioden in der oben beschriebenen Weise unter Zuhilfenahme der dynamischen Programmierung durchzuführen, wegen der enormen Rechenzeit zum Scheitern verurteilt ist. Bei Problemen diesen Umfangs empfiehlt es sich, das Verfahren von H. Laux[1] mit dem von uns vorgeschlagenen Ansatz zu kombinieren. Das kann in folgender Weise geschehen.

Zunächst werden für alle in der ersten Planperiode erwarteten Marktkonstellationen und für alle Kombinationen der Zustandsparameter, die zu Beginn der zweiten Planperiode jeweils in Erwägung gezogen werden, lineare Programme formuliert, welche die Perioden 2 bis m einbeziehen. Die Durchrechnung dieser Programme liefert für jede berücksichtigte Absatzkonstellation eine Menge suboptimaler Lösungen, die bei der Ermittlung des Gesamtoptimums nach dem Prinzip der dynamischen Programmierung verwertet werden. Dieses Gesamtoptimum liefert die Lösung der Funktionalgleichung(4.3.2.7.3),[2]

---

1) Vgl. Laux, Helmut, a.a.O..

2) Vgl. oben S. 112.

wobei $G_2^{*j_1}(z_2^{j_1})$ hier den optimalen Zielfunktionswert des für eine beliebige Absatzsituation j_1 formulierten und die Perioden 2 bis m umfassenden linearen Programms in Abhängigkeit von der gewählten Konstellation der Zustandsvariablen $(z_2^{j_1})$ angibt.

Eine derartige Modifikation des bisher beschriebenen Grundmodells zur flexiblen Investitionsplanung vereinigt sowohl die Vorteile des linearen als auch des dynamischen Programmierens. Gegenüber einer alle m Perioden umfassenden Programmformulierung führt die Durchrechnung der linearen Teilprogramme zu vermindertem Kernspeicherbedarf und möglicherweise zu niedrigeren Rechenzeiten.[1] Gegenüber dem von uns vorgelegten Grundmodell werden wegen der Effizienz der verfügbaren Algorithmen zur Lösung linearer Programme und wegen der Anwendbarkeit spezieller Dekompositionsverfahren[2] auch Probleme rechenbar, die bei entsprechender Anzahl von Zustandsparametern mit Hilfe eines alle m Stufen einschließenden dynamischen Programmansatzes nicht mehr zu bewältigen wären. Darüber hinaus ist anzunehmen, daß die Zahl der Kombinationen der Zustandsparameter, für die die linearen Teilprogramme des nunmehr zweistufigen dynamischen Programmierungsmodells zu lösen sind, in operationalen Grenzen gehalten werden kann. Denn es brauchen, ausgehend von der im Zeitpunkt der Planung vorliegenden Vermögensstruktur des Unternehmens nur diejenigen Kombinationen der zu Beginn der ersten Planperiode in Betracht gezogenen Investitions- und Desinvestitionsalternativen berücksichtigt zu werden, die sich aus produktionstechnischen Gründen nicht gegenseitig ausschließen und das finanzielle Gleichgewicht der ersten Periode nicht stören (zulässige Kombinationen).[3] Für

1) Die suboptimalen Ergebnisse können extern gespeichert werden.

2) Vgl. Fußnote 2 auf S. 149 dieser Arbeit.

3) Durch spezielle Enumerationstechniken kann erreicht werden, daß die Zahl der notwendigen Enumerationen die Zahl der zulässigen Lösungen nicht wesentlich überschreitet.

jede dieser zulässigen Kombinationen und jede in der Periode 1 in Erwägung gezogene Absatzmarktsituation wird ein optimales Produktionsprogramm ermittelt. Die Zahl der Kombinationen der Zustandsvariablen, die auf der zweiten Stufe zu beachten sind, ist dann gleich der Zahl der zulässigen Kombinationen von Investitions- und Desinvestitionsalternativen der ersten Periode; denn einer bestimmten Konstellation der Zustandsparameter ist ein zu Beginn der zweiten Periode verfügbarer Betrag finanzieller Mittel zugeordnet, der von der zwischenzeitlichen Marktentwicklung abhängt und der sich aus den für die erste Periode ermittelten Produktionsprogrammen und der zu Beginn der zweiten Planperiode freiwerdenden Finanzanlage der Vorperiode und deren Verzinsung eindeutig ableiten läßt.

Die Beibehaltung des Prinzips der dynamischen Programmierung erleichtert, zumindest für die erste Planperiode, die Ermittlung ganzzahliger Lösungen. Dieser Vorteil ist für die Investitionsplanung wegen der Unteilbarkeit der Sachinvestitionsobjekte und des Gewichts, das einer Einheit dieser Aktionsvariablen zukommt,[1] von besonderer Bedeutung. Die in Abschnitt 4.3.3 skizzierte Variante des Grundmodells erfährt durch die hier behandelte Modifikation eine wesentliche Vereinfachung. Die Zielfunktion (4.3.3.9) ändert sich nicht. Allerdings bezieht sich der Index ν nur noch auf unterschiedliche Konstellationen derjenigen Zustandsparameter, welche Sachanlagen repräsentieren, da bei gegebener Absatzlage in der Vorperiode jeder dieser Konstellationen ein bestimmter Betrag zu Anfang der Periode 2 verfügbarer finanzieller Mittel eindeutig zugeordnet ist. Die Bedingungen (4.3.3.10) - (4.3.3.13) sowie die übrigen, bei der Formulierung des Grundmodells in Abschnitt 4.3.2 angegebenen Restriktionen können gestrichen werden, da die Menge der zulässigen Kombinationen bereits bekannt ist. Hinzuzufügen sind die Bedingungen

1) Im Gegensatz dazu ist einer einzelnen Einheit einer Aktionsvariablen bei der Produktionsplanung (z.B. kg eines Materials oder Stück eines Produkts) kein Gewicht beizumessen, so daß unter diesem Blickwinkel nicht ganzzahlige Lösungen dort nicht weiter stören.

(4.3.6.1) $\overline{\sum_{j_1 \in I_{j_0}}} 1_{\nu}^{j_1} = \bar{I}_{\nu} \cdot v \qquad (j_1 = 1, \ldots, v)$

für alle ν,

(4.3.6.2) $\sum_{\nu} \bar{I}_{\nu} = 1$ und

(4.3.6.3) $\bar{I}_{\nu}$ = ganzzahlig 0 oder 1.

Die Bedingungen (4.3.6.1) - (4.3.6.3) stellen sicher, daß die zu einer bestimmten Konstellation der Zustandsparameter gehörende binäre Variable $1_{\nu=r}^{j_1=k}$ nur dann den Wert 1 annehmen kann, wenn für alle übrigen v-1 Absatzsituationen die Variablen $1_{\nu=r}^{j_1 \neq k}$ ebenfalls den Wert 1 annehmen. Eine zulässige Lösung enthält daher nur Zustandsparameterkonstellationen $Z_{\nu}^{j_1}$ $(j_1 = 1, \ldots, v)$, die sich durch den gleichen Index ν auszeichnen.

Die optimale Lösung dieses sehr einfachen binären Problems erhält man, indem man aus der Gesamtmenge der möglichen Zielfunktionswerte

$$\overline{\sum_{j_1 \in I_{j_0}}} w^{j_1} \cdot G_2^{*j_1}(z_{2,\nu}^{j_1}) \qquad (\nu = 1, \ldots, u)$$

den maximalen Wert und den ihm zugeordneten flexiblen Investitionsplan heraussucht. Dieser Plan enthält für die Entscheidungsvorschläge hinsichtlich der Sachinvestitionen der ersten Periode nur ganzzahlige Aktivitätsniveaus. Ab Periode 2 können die entsprechenden Aktivitätsniveaus auch nicht ganzzahlige Werte annehmen. Diese Ungenauigkeit kann gegebenenfalls in Kauf genommen werden, wenn man berücksichtigt, daß der Einfluß der für künftige Perioden geplanten Entscheidungen auf Maßnahmen der Gegenwart in der Regel mit zunehmender zeitlicher Entfernung vom Planungsursprung abnimmt. Unter Umständen mag es allerdings zweckmäßig und durchführbar sein, einen erweiterten dynamischen Programmansatz zu formulieren, so daß das modifizierte Grundmodell nunmehr drei oder mehr Stufen umfaßt. Dadurch wird die Möglichkeit er-

öffnet, auch für die zweite oder weiter folgende Perioden hinsichtlich der zu planenden Investitionsentscheidungen ganzzahlige Werte zu berechnen. Die ganzzahligen Programme der zweiten und eventuell weiterer Stufen haben dann die in Abschnitt 4.3.3 beschriebene Form, lediglich für die erste Periode kommen wiederum die oben dargelegten Vereinfachungen zum Zuge.

Der Vorteil, der aus der Anwendung der dynamischen Programmierung für die Vornahme von Sensivitätsanalysen bezüglich der Auswirkungen von Variationen der Eintrittswahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Umweltsituationen erwächst,[1] wird, soweit sich diese Analyse auf die erste Planperiode erstrecken soll, durch die besprochene Modifikation des Grundmodells nicht beeinträchtigt.

---

1) Vgl. dazu oben S. 126 ff.

5. Zusammenfassung

Das Anliegen der vorgelegten Arbeit war es, die Elemente einer flexiblen Investitionsplanung herauszuarbeiten. Nach der einleitenden Skizzierung der Problematik und nach der Klärung einiger grundlegender Begriffe wurde zunächst im Abschnitt 2 die für die Konzeption einer flexiblen Investitionsplanung wichtige Frage untersucht, welche Komponenten im Investitions- und Finanzierungsbereich bei der Begründung der Anpassungsbereitschaft der Unternehmung mitwirken und in welchem Verhältnis sie zueinander stehen. Im Abschnitt 3 wurde der Versuch unternommen zu klären, welche Faktoren die Vorteilhaftigkeit investiver Maßnahmen, die die Elastizität der Unternehmung erhöhen, beeinflussen. Es konnte gezeigt werden, daß, unabhängig von der Risikoneigung, der Bruttovorteil betrieblicher Anpassungsbereitschaft mit steigender Streuung der Marktdaten wächst, wobei dieser Effekt je nach Art der Korrelation verstärkt oder abgeschwächt wird. Im Abschnitt 4 wurde schließlich ein quantitativer Modellansatz zur flexiblen Planung von Investitionsentscheidungen vorgelegt, der sich der dynamischen Programmierung zur rekursiven Verknüpfung der die einzelnen Perioden betreffenden Teilentscheidungen bedient. Dabei wurde die Erwartungsstruktur als stochastischer Prozeß aufgefaßt. Zur Bestimmung der optimalen Steuerung des Entscheidungsprozesses sind auf den einzelnen Stufen je nach Ausgestaltung des Ansatzes nicht ganzzahlige oder ganzzahlig formulierte Programme zu lösen. Da auf jeder Stufe für alle in Erwägung gezogenen Ausgangskonstellationen der Zustandsparameter derartige Programme durchgerechnet werden müssen, sind der Operationalität des Grundmodells sehr enge Grenzen gesetzt. Im letzten Abschnitt des vorangegangenen Kapitels wurde daher auf Modifikationsmöglichkeiten hingewiesen, die die Operationalität erhöhen, die Vorteile der dynamischen Programmierung aber nicht gänzlich aufgeben. Eine einsatzbereite Planungsmethode zu liefern, war allerdings nicht das Ziel dieser Arbeit. Im Vordergrund stand vielmehr das Bestreben, die Struktur eines flexiblen Entscheidungsprozesses im Investitionssektor zu entwerfen.

Verzeichnis der im flexiblen Investitionsmodell verwendeten Symbole

$a_{\alpha\gamma}$	Ausbringung pro Zeiteinheit vom Produkt γ, produziert auf einem sich im Zustand α ($\alpha > n$) befindlichen Aggregat (Ausbringungskoeffizient)
$b_{\alpha\beta}$	Beanspruchung einer spezifischen Leistung β, die von mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Investitionsobjekten geliefert wird, durch ein Objekt im Zustand α, gemessen in Einheiten der Leistungsart β
$B_{\alpha\beta}$	Die Kapazität eines mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Investitionsobjekts im Zustand ($\alpha \leqq n$) hinsichtlich der Leistungsart β, gemessen in Einheiten dieser Leistungsart
$d_{i\alpha}$	Anschaffungsausgaben für ein Investitionsobjekt vom Typ α zu Anfang der Planperiode i
$e_{i\alpha'\alpha}$	Zu Anfang der Planperiode i anfallende Ausgaben, um bei einer Anlage eine in dieser Periode wirksame Zustandsänderung von α' nach α zu erreichen
E	Erwartungswert
$f_{i\alpha}$	Fixe Ausgaben für ein sich im Zustand α befindliches Investitionsobjekt in der Planperiode i

$G_i^{j_{i-1}}$ Der sich zu Beginn der Periode i ergebende Erwartungswert des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums, unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

G^* Das sich zu Beginn der ersten Planperiode ergebende Optimum des Erwartungswertes des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums (Gesamtoptimum)

$G_i^{*j_{i-1}}$ Der für den Beginn der Planperiode i ermittelte optimale Erwartungswert des Geldvermögens am Ende des Planungszeitraums, unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

Gr Der den stochastischen Prozeß der Umweltzustände beschreibende Baumgraph

Gr_{j_i} Der vom Knotenpunkt q^{j_i} ausgehende, sich bis zur m-ten Stufe erstreckende Subgraph (Teilbaum) des Graphen Gr

$H_i^{j_{i-1}}$ Aus der Planperiode i-1 übernommene, zu Anfang der Planperiode i für Investitionszwecke zur Verfügung stehende liquide Mittel, falls die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

i Planperiodenindex (i = 1, ..., m)

I Indexmenge der Absatzmarktzustände

I_{j_i} Indexmenge der zu dem Subgraphen Gr_{j_i} gehörenden Absatzmarktzustände

j	Index der Absatzmarktsituation
$k_{i\alpha\gamma}$	Variable Produktionskosten pro Ausbringungseinheit des Produkts γ in der Planperiode i, falls die Produktion auf einem im Zustand α ($\alpha > n$) befindlichen Aggregat erfolgt
$M_{\gamma}^{j_i}$	Maximal absetzbare Menge des Produkts γ in der Planperiode i und der Absatzsituation j_i
$p_{\gamma}^{j_i}$	Absatzpreis pro Mengeneinheit des Produktes γ in der Planperiode i und der Absatzsituation j_i
Pr^{j_i}	Vektor des geplanten Aktivitätsniveaus der Variablen des simultanen Produktions- und Investitionsprogramms für die Planperiode i in Abhängigkeit von den erwarteten, durch den Index j_i gekennzeichneten Absatzmarktzuständen dieser Periode
q^{j_i}	Der die Absatzmarktsituation j_i kennzeichnende Knotenpunkt im Baumgraphen Gr
Q_{j_i}	Menge aller zum Subgraphen Gr_{j_i} gehörenden Knotenpunkte
r_i	Rendite für Finanzinvestitionen mit einer Laufzeit von einer Periode in der Planperiode i
s^{j_i}	Zum Knotenpunkt q^{j_i} hinführende Kante des Graphen Gr
S_{j_i}	Menge aller zum Subgraphen Gr_{j_i} gehörenden Kanten

$t^{j_i}_{\alpha\gamma}$ — geplante Produktionszeit auf dem im Zustand α ($\alpha > n$) befindlichen Aggregat am Produkt γ in der Periode i, falls die Absatzmarktsituation j_i eintreten sollte

T_α — Maximal in einer Planungsperiode zur Verfügung stehende Produktionszeit auf einem sich im Zustand α ($\alpha > n$) befindenden Aggregat

w^{j_i} — Bedingte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Absatzmarktsituation j_i ($w^{j_i} = w\,(q^{j_i} \mid q^{j_{i-1}})$, $j_i \in I_{j_{i-1}}$)

$x^{j_{i-1}}_{i\alpha}$ — Geplante Anzahl der zu Beginn der Planperiode i anzuschaffenden Investitionsobjekte vom Typ α, falls die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

$\bar{x}^{j_{i-1}}_{i\alpha'\alpha}$ — Geplante Anzahl der Investitionsobjekte, die durch Anpassungsmaßnahmen aus dem in der Planperiode i-1 wirksamen Zustand α' in den in der Planperiode i wirksamen Zustand α überführt werden sollen, unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

$\bar{\bar{x}}^{j_{i-1}}_{i\alpha'}$ — Zu Beginn der Planungsperiode i im Betrieb vorhandene, sich im Zustand α' befindende Anlagen, unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

$y^{j_{i-1}}_i$ — Betrag der zu Beginn der Planperiode i geplanten, zum Ende der gleichen Periode liquidierbaren Finanzinvestition unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

$z_i^{j_{i-1}}$ Vektor der zu Beginn der Planungsperiode i im Betrieb vorhandenen Anlagen und Finanzierungsmittel unter der Voraussetzung, daß die Erwartungsstruktur auf den Subgraphen $Gr_{j_{i-1}}$ reduziert worden ist

α Index der Investitionsobjektzustände (α = 1, ..., n, n+1, ..., s)

β Index der Leistungsarten, die von mittelbar am Produktionsprozeß beteiligten Anlagen abgegeben werden können

γ Produktindex

Φ Funktionszeichen

Anhang zu Abschnitt 3.1.1.1

Im folgenden wird bewiesen, daß

$$m_1' = \frac{m_1 - (a_1 \cdot T_1 - \mu)}{2} \quad .$$

Definitionsgemäß ist:

$$m_1' = \sum_{j \in I_1} w^j \cdot (M^j - a_1 \cdot T_1), \text{ mit } I_1 = \left\{ j \in I \;\middle|\; M^j > a_1 \cdot T_1 \right\} ;$$

$$2m_1' = 2 \sum_{j \in I_1} w^j \cdot M^j - 2 \sum_{j \in I_1} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 ;$$

$$m_1 = \sum_{j \in I_1} w^j \cdot M^j - \sum_{j \in I_1} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 + \sum_{j \in I_2} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 - \sum_{j \in I_2} w^j \cdot M^j ,$$

$$\text{mit } I_2 = \left\{ j \in I \;\middle|\; M^j \leq a_1 \cdot T_1 \right\};$$

$$\mu = \sum_{j \in I_1} w^j \cdot M^j + \sum_{j \in I_2} w^j \cdot M^j \quad .$$

Dann gilt:

$$m_1 + \mu = 2 \sum_{j \in I_1} w^j \cdot M^j - \sum_{j \in I_1} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 + \sum_{j \in I_2} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 \quad \text{und}$$

$$m_1 + \mu - a_1 \cdot T_1 = 2 \sum_{j \in I_1} w^j \cdot M^j - 2 \sum_{j \in I_1} w^j \cdot a_1 \cdot T_1 \quad .$$

Daraus folgt:

$$m_1' = \frac{m_1 - (a_1 \cdot T_1 - \mu)}{2} \quad , \text{ q.e.d.}$$

Analog läßt sich (3.1.1.1.8) beweisen.

Literaturverzeichnis

Abkürzungen:

ZfbF — Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung

ZfB — Zeitschrift für Betriebswirtschaft

N.F. — Neue Folge

Adam, Dietrich — Das Interdependenzproblem in der Investitionsrechnung und die Möglichkeit einer Zurechnung von Erträgen auf einzelne Investitionsobjekte, in: Der Betrieb, Jg. 1966, S. 989-993

ders. und Röhrs, Wolfgang — Ein Algorithmus zur Dekomposition linearer Planungsprobleme, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 395-417

Albach, Horst — Die Prognose im Rahmen unternehmerischer Entscheidungen, in: Diagnose und Prognose als wirtschaftswissenschaftliche Methodenprobleme. Verhandlungen auf der Arbeitstagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, in Garmisch-Partenkirchen 1961, hrsg. von Herbert Giersch und Knut Borchardt, Berlin 1962, S. 201-214

ders. — Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962

ders. — Investitionsentscheidungen in Mehrproduktunternehmen, in: Angermann, Adolf (Hrsg.), Betriebsführung und Operations Research, Frankfurt a.M. 1963, S. 24-48

ders. — Kapitalbindung und optimale Kassenhaltung, in: Janberg, Hans (Hrsg.), Finanzierungshandbuch, Wiesbaden 1964, S. 404-412

ders.	Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959
Angermann, Adolf (Hrsg.)	Betriebsführung und Operations Research, Frankfurt a.M. 1963
Archer, Stephen H. and Charles A. D'Ambrosio	Business Finance, Theory and Management, New York-London 1966
Axmann, Norbert Joss	Flexible Investitions- und Finanzpolitik, Diss. Darmstadt 1959
Balas, Egon	An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables, in: Operations Research, vol. 13 (1965), S. 517-546
Bellinger, Bernhard	Langfristige Finanzierung, Wiesbaden 1964
Bellman,Richard E.	Some Applications of the Theory of Dynamic Programming - A Review, in: Operations Research, vol. 2 (1954), S. 275-288
ders.	Dynamic Programming, Princeton 1957
ders. and Stuart E. Dreyfus	Applied Dynamic Programming, Princeton 1962
Bender, Kurt	Langfristige unternehmerische Planung, in: Dynamische Betriebsplanung zur Anpassung an wirtschaftliche Wechsellagen, Bd. 2 der Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Planungsrechnung e.V., Wiesbaden 1959, S. 15-30

Bereanu, B.	A Property of Convex Piecewise Linear Functions with Applications to Mathematical Programming, in: Unternehmensforschung, Bd. 9 (1965), S. 112-119
Bitschnau, R.	Das Revolvingsystem in der Industriefinanzierung, Diss. Mannheim 1959
Brauer, Karl M.	Binäre Optimierung, Diss. Saarbrücken 1968
Busacker, Robert G. and Thomas L. Saaty	Endliche Graphen und Netzwerke: Eine Einführung mit Anwendungen, München-Wien 1968 (Titel der englischen Fassung: Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications, New York-St.Louis-San Francisco-Toronto-London-Sidney 1965)
Carnap, Rudolf	Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit, bearbeitet von Wolfgang Stegmüller, Wien 1959
Dantzig, George B.	Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin-Heidelberg-New York 1966. Ins Deutsche übertragen von Arno Jaeger. Titel der amerikanischen Originalausgabe: Linear Programming and Extensions, Princeton, N.J., 1963
ders.	On the Status of Multistage Linear Programming Problems, in: Management Science, vol. 6 (1960), S. 53-72
ders. and Philip Wolfe	Decomposition Principle for Linear Programs, in: Operations Research, vol. 8 (1960), S. 101-111

dies.	The Decomposition Algorithm for Linear Programming, in: Econometrica, vol. 29 (1961), S. 767-778
Deutsche Gesellschaft für Betriebswirtschaft (Hrsg.)	Stabilität durch betriebliche Elastizität, Berlin 1968
Düchting, Hans	Liquidität und unternehmerische Entscheidung, Diss. München 1965
Engels, Wolfram	Betriebswirtschaftliche Bewertungslehre im Licht der Entscheidungstheorie, Köln und Opladen 1962
Fellner, William and Bernhard F. Haley (eds.)	Readings in the Theory of Income Distribution, 2. Aufl., London 1954
Ferschl, F.	Grundzüge der Dynamic Programming, in: Unternehmensforschung, Bd. 3 (1959), S. 70-80
Fettel, Johannes und Hans Linhardt (Hrsg.)	Der Betrieb in der Unternehmung, Festschrift für Wilhelm Rieger, Stuttgart 1963
Frese, Erich	Prognose und Anpassung, in: ZfB, 38. Jg. (1958), S. 31-44
Fricke, R.	Die Elastizität der Kapitaldisposition, in: ZfB, 8. Jg. (1931), S. 756-766
Gäfgen, Gérard	Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen, Tübingen 1963
Gass, Saul I. and Thomas L. Saaty	Parametric Objective Function (Part 2) Generalization, in: Operations Research, vol. 3 (1955), S. 395-401

Giersch, Herbert und Knut Borchardt(Hrsg.) — Diagnose und Prognose als wirtschaftswissenschaftliche Methodenprobleme. Verhandlungen auf der Arbeitstagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Garmisch-Partenkirchen 1961, Berlin 1962

Gutenberg, Erich — Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Die Produktion, 14. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1968

Hadley, George — Nonlinear and Dynamic Programming, Reading (Mass.) 1964

Haerle, Dietrich — Finanzierungsregeln und ihre Problematik, Bd. 4 der Schriftenreihe für Kreditwirtschaft und Finanzierung, hrsg. von K.F. Hagenmüller, Wiesbaden 1961

Hart, Albert Gailord — Anticipations, Uncertainty,and Dynamic Planning, New York 1965

ders. — Risk, Uncertainty, and the Unprofitability of Compounding Probabilities, in: Fellner, William and Bernhard F. Haley (eds.), Readings in the Theory of Income Distribution, 2. Aufl., London 1954, S. 547-557. Erstabdruck in: Studies in Mathematical Economics and Econometrics, Chicago 1942, S. 110-118

Hax, Herbert — Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, in: ZfbF, N.F., 19. Jg. (1967), S. 749-761

ders.	Die Koordination von Entscheidungen, Köln-Berlin-Bonn-München 1965
ders.	Investitions- und Finanzierungsplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, in: ZfbF, N.F., 16. Jg. (1964), S. 430-446
Hertz, David B.	Risk Analysis in Capital Investment, in: Havard Business Review, vol. 42 (1964), No. 1, S. 95-106
Hespos, Richard F. and Straßmann, Paul A.	Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions, in: Management Science, vol. 11 (1965), Serie B, S. 244-259
Hillier, Fredrick S.	The Derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Investments, in: Management Science, vol. 9 (1963), S. 443-457
Hoffmann, Rolf-R.	Beziehungen zwischen Investition und Finanzierung, Berlin 1962
Howard, Ronald	Dynamic Programming, in: Management Science, vol. 12 (1966), S. 317-348
Jääskeläinen, Veikko	Optimal Financing and Tax Policy of the Corporation, Helsinki 1966
Jacob, Herbert	Flexibilitätsüberlegungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 1-34
ders.	Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 487-507 und 551-594

ders.	Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, in: ZfB, 37. Jg., (1967), S. 153-187
Janberg, Hans (Hrsg.)	Finanzierungshandbuch, Wiesbaden 1964
Joksch, H.C.	Lineares Programmieren, Tübingen 1962
Jonas, Heinrich H.	Grenzen der Kreditfinanzierung, Wiesbaden 1960
Kern, Werner	Die Empfindlichkeit linear geplanter Programme, in: Angermann, Adolf (Hrsg.), Betriebsführung und Operations Research, Frankfurt a.M. 1963, S. 49-79
Klein, Burton and William Meckling	Application of Operations Research to Development Decisions, in: Operations Research, vol. 6 (1958), S. 352-363
Klopsch, Wilhelm	Die Elastizität von Außenhandelsbetrieben, Diss. Hamburg 1962
v. Kortzfleisch, Gert	Die Grundlagen der Finanzplanung, Berlin 1957
Kosiol, Erich	Planung als Lenkinstrument der Unternehmensleitung, in: Unternehmensplanung in der Marktwirtschaft, Bd. 10 der Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Planungsrechnung e.V., Wiesbaden 1965, S. 15-26
Langen, Heinz	Finanzplanung und betriebliche Elastizität, in: Stabilität durch betriebliche Elastizität, hrsg. von: Deutsche Gesellschaft für Betriebswirtschaft, Berlin 1968, S. 256-265

Laux, Helmut	Flexible Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe der linearen Programmierung, in: ZfbF (in Vorbereitung)
v.Loesch, Achim	Das Revolving-Kreditsystem, in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 118 (1962), S. 462-482
Magee, John F.	Decision Trees for Decision Making, in: Havard Business Review, vol. 42 (1964), No. 4, S. 126-138
ders.	How to Use Decision Trees in Capital Investment, in: Havard Business Review, vol. 42 (1964), No. 5, S. 79-96
Marschak, Jacob	Role of Liquidity Under Complete and Incomplete Information, in: American Economic Review, vol. 39 (1949), S. 182-195
Marschak, Thomas and Richard Nelson	Flexibility, Uncertainty and Economic Theory, in: Metrooeconomica, vol. 14, (1962), S. 42-58
Mellerowicz, K. und H. Jonas	Bestimmungsfaktoren der Kreditfähigkeit, 2. unveränderte Auflage, Berlin 1957
Moxter, Adolf	Die Bestimmung des optimalen Selbstfinanzierungsgrades unter privatwirtschaftlichem Aspekt, in: Der Betrieb in der Unternehmung. Festschrift für Wilhelm Rieger, hrsg. von Johannes Fettel und Hanns Linhardt, Stuttgart 1963, S. 300-317

ders.	Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungstheorie, in: ZfbF, N.F., 17. Jg. (1965), S. 1-10
Ore, Oystein	Theory of Graphs. American Mathematical Society Colloquium Publications, vol. 38, Providence 1962
Reinboth, Helmut	Schuldscheindarlehen als Mittel der Unternehmensfinanzierung, Wiesbaden 1965
Richardson, G.B.	Investment and Information, London 1960
Riebel, Paul	Die Elastizität des Betriebes, Köln und Opladen 1954
Saaty, Thomas and Saul Gass	Parametric Objective Function (Part 1), in: Operations Research, vol. 2 (1954), S. 316-319
Schneeweiß, Hans	Ein allgemeines Schema des stochastischen Programmierens, in: Statistische Hefte, 3. Jg. (1962), S. 131-157
ders.	Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin-Heidelberg-New York 1967
Schneider, Dieter	Ausschüttungsfähiger Gewinn und das Minimum an Selbstfinanzierung, in: ZfbF, N.F., 20. Jg. (1968), S. 1-29
Schwantag, Karl	Eigenkapital als Risikoträger, in: ZfbF, N.F., 15. Jg. (1963), S. 218-231
Seelbach, H.	Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, Würzburg-Wien 1967

Staehle, Walter — Die Schuldscheindarlehen, Wiesbaden 1965

Swoboda, Peter — Die betriebliche Anpassung als Problem des betrieblichen Rechnungswesens, Wiesbaden 1964

Ulbricht, W. und A. Bronner — Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Planen von Werkzeugmaschinen, in: VDI-Zeitschrift, Bd. 101 (1959), Nr. 25, S. 1160-1166

Vormbaum, H. — Wechselbeziehungen zwischen den fixen Kosten und dem betriebswirtschaftlichen Elastizitätsstreben, in: ZfB, 29. Jg. (1959), S. 193-205

Wagner, Helmut — Simultane Planung von Investition, Beschäftigung und Finanzierung mit Hilfe der dynamischen Programmierung, in: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 709-728

Wentzel, J.S. — Elemente der dynamischen Programmierung, München-Wien 1966 (Übersetzung aus dem Russischen)

Williamson, Oliver E. — The Economics of Discretionary Behaviour: Managerial Objectives in a Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N.J. 1964

Witte, Eberhard — Die Liquiditätspolitik der Unternehmung, Tübingen 1963

Wittmann, Waldemar — Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959